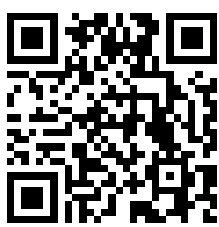
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Glückliche Studen

Adolf Karl Heinrich Slaby

Digitized by Google

3285
.862

Library of
Princeton University.

Brackett Library

Palmer Physical Laboratory

Presented by
Stephen S. Palmer
David B. Jones
Thomas D. Jones

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

A. Slaby

Glückliche Stunden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Glückliche Stunden

Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean

Gemeinverständliche Vorträge

Adolf von Karl Heinrich
A. Slaby
Dr. Ing. h. c.
Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin

BERLIN SW
Verlag von Leonhard Simion Nf.
1908

Digitized by Google

Alle Rechte aus dem Gesetze vom 19. Juni 1901, sowie das Übersetzungsrecht sind vorbehalten.

Published November 20, 1907. Privilege of Copyright in the United States reserved under the Act approved March 3, 1905 by Leonhard Simion Nf. Berlin.

Digitized by Google

Ihren

Kaiserlichen und Königlichen Majestäten

Wilhelm II.

und

Auguste Victoria

in tiefster Ehrfurcht

zugeeignet.

(RECAP)

212922

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorwort.

Diese Vorträge sind entstanden aus eigenartiger Veranlassung. Sie entstammen Unterhaltungen mit Seiner Majestät dem Kaiser auf Spaziergängen in den herbstlichen Wäldern der Schorfheide, oder bei der Abendtafel in dem stillen Hubertusstock. Alljährlich im Frühjahr durfte ich sodann in zusammenfassenden Vorträgen das Besprochene durch Experimente in meinem Laboratorium an der Technischen Hochschule eingehender erläutern oder an ausgeführten Anlagen demonstrieren. Zu diesen Vorträgen zog Se. Majestät nicht selten einen gröfseren Kreis von Damen und Herren aus der Allerhöchsten Umgebung hinzu. Niemals fehlte Ihre Majestät die Kaiserin, welche das Interesse Ihres hohen Gemahls wie für alle künstlerischen und wissenschaftlichen Bestrebungen, so auch für Naturwissenschaft und Technik teilt und es nicht verschmäht, tiefer in den Zusammenhang einzudringen, als es Damen im allgemeinen zugemutet werden darf. Beweis dafür ist mir ein interessantes Erlebnis. Nach einem regnerischen Vormittag in Hubertusstock fragte mich Ihre Majestät, womit ich die Zeit ausgefüllt hätte. „Mit Nichtstun“ mufste

Digitized by Google

ich erwidern. „Ich", sagte die hohe Frau, „habe Ihren gestrigen Vortrag für einen meiner Söhne aus der Erinnerung niedergeschrieben".

Die Entstehungsursache erklärt Form und Umfang der Vorträge, von denen jeder einen in sich abgeschlossenen Inhalt haben mufste. Wiederholungen sind tunlichst vermieden; wo es der Zusammenhang forderte, habe ich dazu meist neue experimentelle Hilfsmittel herangezogen. Einige verwandte Vorträge wurden am Schlufs in dem Kapitel „Abseits vom Wege" vereinigt.

„Glückliche Stunden" habe ich dies Buch benannt aus einem dreifachen Grunde. Nicht selten glückte es, für die Technik brauchbare Anregung zu finden, durch Kaiserliche Huld ward meinem bescheidenen Wirken ein unerwarteter Inhalt zuteil, und das Glück der freundlichen Stunden in dem hohen Familienkreise strahlte auf mein eigenes Leben zurück.

Heringsdorf, den 15. September 1907.

Der Verfasser.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

Entdeckungsfahrten.

		Seite
1.	Von irdischen und überirdischen elektrischen Kräften	1
2.	In den Fluten der Strömung	31
3.	Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister	54
4.	Ein Spaziergang in einem Sonnenstrahl	101
5.	Die Funkentelegraphie Marconis	133
6.	Die Marine und die Funkentelegraphie	189
7.	Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie	214
8.	Die Technik der elektrischen Wellen	230
9.	Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen	268
10.	Drahtloses Fernsprechen	315

Abseits vom Wege.

1.	Die Wanderung der Energie	347
2.	Werden und Wachsen deutscher Ingenieurkunst	361
3.	Otto von Guericke, der erste deutsche Ingenieur	371
4.	Ericsson und Hirn, zwei Typen aus der schaffenden und forschenden Technik des neunzehnten Jahrhunderts	390
5.	N. A. Otto, der Erfinder der Gasmaschine	422

Digitized by Google

Digitized by Google

Entdeckungsfahrten.

Digitized by Google

Digitized by Google

1.

Von irdischen und überirdischen elektrischen Kräften.

Ein elektrisches Experiment ist erst dann für einen technischen Prozeß verwertbar, wenn die beabsichtigte Wirkung sicher hervorgerufen und nach Maß und Zahl vorausberechnet werden kann. In diesem Sinne spricht man z. B. bei einem Scheinwerfer der Marine von einer elektrischen Spannung von 50 Volt und einer Stromstärke von 80 Ampere und kennzeichnet dadurch die Größe seiner Leistung sowie den erforderlichen Kraftbedarf. Der Elektrotechniker bedient sich also bei seinen Entwürfen gewisser Benennungen und Einheiten für die elektrischen Größen; der heutige Vortrag soll den Begriff der elektrischen Spannung an einigen Beispielen erläutern.

Die Anschlußpunkte einer Dynamomaschine oder einer andern Quelle elektrischer Kraft nennt man die Pole derselben. Von hier gehen die Drähte aus, welche die elektrische Wirkung bis zum Orte ihrer technischen Verwendung weitertragen. Befreit man die Pole von der Drahtleitung, so kann man an ihnen eine ihrer wesentlichsten Eigenschaften, ihre elektrische Spannung erkennen. Die Kenntnis der elektrischen Spannung reicht weit zurück ins Altertum. Es wird uns berichtet, daß schon einer der sieben Weisen

Digitized by Google

Griechenlands, Thales von Milet, etwa 600 v. Chr. diese Erscheinung wahrnahm an dem geriebenen Bernstein, dem Electron, von welchem her ja auch die Erscheinung ihren Namen trägt. Wenn man Bernstein reibt, erhält er die Fähigkeit, leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, anzuziehen und nach einiger Zeit wieder abzustoßen. Nirgends im Altertum finden wir aber den Gedanken, daß diese Erscheinung zusammenhinge mit derjenigen des Blitzes, des „gesammelten Feuers der Wolken", wie man den Blitz damals bezeichnete. Das Altertum ist außerordentlich arm an wirklichen naturwissenschaftlichen Kenntnissen, und das häufig gerühmte Aufleben der Wissenschaften am Ende des Mittelalters ist zunächst eigentlich weiter nichts als ein Rückfall in die Irrtümer des Altertums.

Im Beginn des Mittelalters lernte man eigentümliche elektrische Erscheinungen animalischen Ursprungs kennen. An den Gestaden des Mittelmeers lebt ein Fisch, der Zitterrochen oder Torpedofisch, welcher die Eigenschaft hat, elektrische Schläge zu erteilen. Die Mitbewohner des Meeres umziehen diesen Fisch in weitem Umkreise und die Fischer fürchten ihn beim Fange. In den Gewässern von Süd-Amerika hat man später noch einen gefährlicheren Fisch entdeckt, den Gymnotus electricus, welcher noch wesentlich stärkere elektrische Kräfte besitzt. Fesselnd ist die Schilderung, die Alexander von Humboldt in den Ansichten der Natur von dem Kampfe der Rosse der Steppe mit den elektrischen Gymnoten gibt. Um diese Fische zu fangen, die ein sehr wohlschmeckendes Fleisch haben, treibt man die Pferde in einen von Gymnoten erfüllten Sumpf; dort stehen sie zitternd mit gesträubter Mähne, mit fliegenden Nüstern und dulden die Schläge der Gymnoten, die sich, selber erschreckt, schlangenartig unter ihrem Bauch dahinwinden, bis ihre elek-

Digitized by Google

trische Kraft erschöpft ist. Dann ziehen die Eingebornen sie mit Harpunen ans Land und töten sie.

Aus dem Mittelalter wird uns ferner berichtet, daß auch einzelne hervorragende Menschen sich durch elektrische Eigenschaften auszeichneten. So wird von Theoderich dem Großen, dem Gothenkönig, erzählt, daß er beim Gehen Funken sprühte. Diese Erscheinung kann jeder erzeugen, auch ohne ein Theoderich zu sein. Wenn wir uns abends in einem geheizten Zimmer, bei trockner Außenluft, unserer wollenen Unterkleider entledigen, vernehmen wir nicht selten ein eigentümliches knisterndes Geräusch, und wenn wir aufmerksam sind, können wir deutlich sehen, daß kleine bläuliche Funken überspringen. Wenn wir mit einem Gummikamm durch das Haar fahren, machen wir ganz ähnliche Wahrnehmungen.

Von einer wirklich wissenschaftlichen Betrachtung dieser elektrischen Spannungserscheinung, die also bekannt war, ist nicht die Rede. Erst im 17. Jahrhundert setzt die Forschung ein, und in der Mitte dieses Jahrhunderts erzeugt zum erstenmal der gelehrte Bürgermeister von Magdeburg, Otto von Guericke nennenswerte elektrische Spannungen mittels einer von ihm erfundenen elektrischen Maschine. Daran schließt sich im 18. Jahrhundert eine unaufhörliche Reihe von wissenschaftlichen Studien über die elektrische Spannung, bis endlich am Ende desselben Coulomb durch sein berühmtes, seinen Namen tragendes Gesetz die ganze Kette der bis dahin bekannten Erscheinungen schließt und sie durch ein gemeinsames Band vereinigt.

Frischen wir zunächst einige Schulerinnerungen auf. Eine geriebene Glasstange brachten wir in die Nähe eines außerordentlich leichten Körpers, einer Hollundermarkkugel

Digitized by Google

oder eines Stückchen Goldschaum, an einem Seidenfaden hängend, und sahen wie dieser Körper von der in elektrischen Spannungszustand versetzten Stange angezogen und nach einiger Zeit wieder abgestoßen ward. Es schien so, als ob von dem Glase gleichsam eine stoffliche Masse, eine hypothetische Flüssigkeit mitgeteilt und nach erfolgter Sättigung zurückgestoßen wurde. Genau die gleiche Erscheinung nehmen wir wahr, wenn eine Harz- oder Gummistange gerieben wird. Nähern wir aber zwei Hollundermarkkugeln, von denen die eine mit Glaselektrizität, die andere mit Harzelektrizität geladen ist, so sehen wir, daß sie lebhaft von einander angezogen werden, während zwei solcher Kugeln, die mit gleichartiger Elektrizität geladen sind, entweder nur mit Glaselektrizität oder nur mit Harzelektrizität, sich gegenseitig abstoßen. Ähnliche Erscheinungen zeigen in verschiedener Stärke fast alle geriebenen Stoffe, so daß man sie in glaselektrische oder positive und in harzelektrische oder negative eingeteilt hat. Coulomb hat diese Erscheinung zuerst als das Überladen eines unsichtbaren, unwägbaren Stoffes, den er Elektrizität nannte, aufgefaßt und durch interessante Versuche gezeigt, daß die Kräfte, die bei der Anziehung oder Abstoßung wirken, proportional sind dem Produkt der Ladungen und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Außer dieser Elektrisierung durch direkte Berührung, die wir als Ladung bezeichnen, haben wir noch eine zweite Art. Wenn wir einen metallischen Körper einem geladenen Körper nähern, so erscheinen auf dem metallischen Körper zwei verschiedene Ladungen, und zwar an der Seite, welche dem mit Elektrizität begabten Körper genähert wird, die entgegengesetzte und die gleiche auf der abgewandten Seite. Man nennt diese Scheidung, dieses gleichzeitige Auftreten

Digitized by Google

von ungleichnamigen, lediglich durch Näherung erzeugten Elektrizitäten Influenz.

Entsprechende Erscheinungen zeigen nun die Pole jeder beliebigen Elektrizitätsquelle, sei es eine Dynamomaschine oder eine Batterie. Es herrscht immer Ungleichartigkeit zwischen den Ladungen der beiden Pole und wir können auch hier das Naturgesetz aussprechen: Gleichartige Pole stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an.

Ein Versuch soll dieses Gesetz uns vor Augen führen.

Auf einer weißen Fläche erscheinen als Schattenwirkung einer elektrischen Lampe die plattenförmigen Pole einer Akkumulatorenbatterie. (Fig. 1.) Zwischen ihnen hängt vollkommen frei ein dünnes Aluminiumblättchen, welches der anziehenden und abstoßenden Wirkung der Pole unterliegt. So lange das Blättchen genau in der Mitte zwischen den beiden Polen schwebt, nehmen wir keine Bewegung wahr. Verschieben wir aber den beweglichen Streifen etwas nach rechts oder links, so wird er angezogen von dem näher liegenden Pol. Nach einiger Zeit wird er abgestoßen und fliegt hinüber zum andern Pol. Dort wiederholt sich das gleiche Spiel und so sehen wir ein kontinuierliches Pendeln des Aluminiumblättchens. Durch Influenz wird der bewegliche Streifen elektrisiert und es muß, wenn links der positive Pol war und auf der zugewandten Seite des Streifens infolgedessen negative Elektrizität, die Anziehung nach links er-

Fig. 1.

Digitized by Google

folgen. Bei Berührung teilt sich dem Blättchen die Elektrizität des berührten Poles mit und es erfolgt intensive Abstoßung. Durch die lebendige Kraft, mit der das Blatt in der Mittellage ankommt, wird es veranlaßt, dieselbe zu überschreiten und fliegt weiter zum negativen Pol. Die fortdauernde Erscheinung können wir auffassen wie ein absetzendes Hinüberwandern der Ladung des einen Poles zum andern.

Was lehrt uns dieses Experiment? Eigentlich nur wenig. Wir erfahren nichts von der geheimnisvollen Kraft, welche das freischwebende Metallblättchen mit unfehlbarer Sicherheit von einem Pol zum andern treibt. Wir könnten uns trösten mit dem Goetheschen Ausspruch über die ebenso geheimnisvolle magnetische Kraft:

Magnetes Geheimnis — Wer erklärt mir das?
Kein größer Geheimnis als Liebe und Haß!

Doch der forschende Geist beruhigt sich dabei nicht. Wo ihm das Wissen die Führung versagt, leitet ihn gern eine willigere Schwester — die Phantasie. Sie bevölkert ihm den Raum zwischen den Polen mit einem dichten Gewühl unsichtbarer Moleküle und überträgt die elektrische Kraft durch das zerrende Gedränge der wie zu einer Schaustellung versammelten Aethermassen. Wer je in einem dichten Menschengewühl gesteckt hat, weiß welchen Pressungen und Zerrungen er dabei ausgesetzt ist. Willenlos wird man an Stellen getrieben, die weit abliegen von denen, welche man erreichen will. Man selber führt Pressungen aus auf Menschen und Körperteile, denen man am liebsten weit aus dem Wege ginge. Man denkt zu schieben und man wird geschoben.

Ähnlich stellt man sich das Gedränge der Äthermoleküle vor, wenn zwei mit entgegengesetzter Spannung begabte Körper sich gegenüberstehen. Durch diese Pressungen und

Digitized by Google

Zerrungen des Äthers werden die Kräfte auf das bewegliche Aluminiumblättchen übertragen. Das ist die heutige Vorstellung der forschenden Physik. Den Techniker berührt sie nicht. Wir fordern nicht eine Erklärung der Erscheinung, wir haben nur mit ihren Wirkungen zu tun. Diese wollen wir aber beherrschen und dazu müssen wir in der Lage sein, sie zu messen.

Es liegt nahe, die geschilderte und beobachtete Kraftwirkung dazu heranzuziehen. Man hat Instrumente gebaut, um die elektrischen Spannungen durch Gewichte zu messen, nach dem Prinzip der Hebelwage oder der Neigungswage, der bekannten Briefwage wie wir sie täglich benutzen, um den materiellen Inhalt unserer Briefe, leider nicht auch ihren geistigen zu kontrollieren.

Bei den praktischen Messungen haben wir es nun niemals mit einer Spannung zu tun, sondern immer mit zweien. Alle Erscheinungen der Elektrizität zeigen einen interessanten Dualismus, eine einzelne Elektrizitätsart besteht niemals für sich allein. Selbst wenn wir einen Körper mit einer solchen etwa positiven laden würden, so erscheint durch Influenzwirkung sofort auch die negative auf den benachbarten Gegenständen oder den Wänden des Zimmers. Wir haben also immer mit der Anwesenheit von zwei Ladungen verschiedener Spannung zu rechnen. Man kann sie vergleichen mit einem Unter- und einem Überdruck.

Sind zwei Körper vorhanden, von denen wir den einen als elektropositiv den andern elektronegativ geladen bezeichnen, so ist auf dem positiven eine elektrische Überspannung, auf dem negativen eine elektrische Unterspannung. Ein Analogon bietet ein U-förmig gebogenes offenes Glasrohr, das zum Teil mit Wasser gefüllt ist. Wenn wir durch Luftverdünnung in dem einen Schenkel den Wasserspiegel

Digitized by Google

heben, so senkt er sich in dem andern, in dem ersteren haben wir dann einen Überdruck in dem anderen einen Unterdruck der Wassersäule. Gestatten wir einen Ausgleich der Spannungen, dann fällt die Wassersäule in dem Schenkel, wo sie höher stand, sie steigt im anderen und es bildet sich ein mittleres gleiches Niveau in beiden.

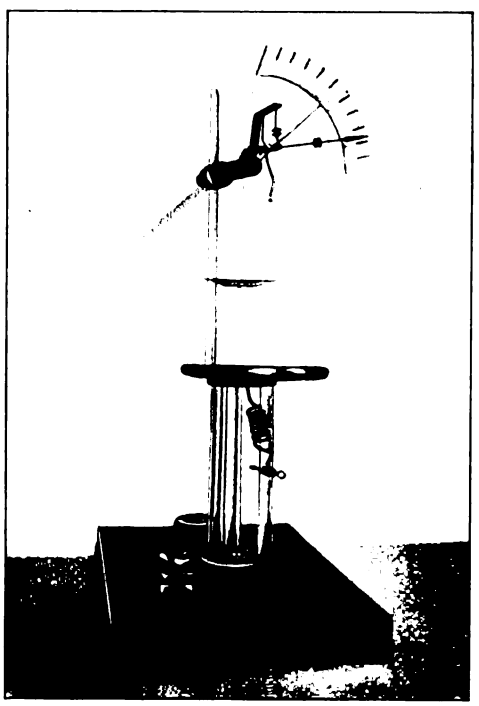


Fig. 2.

Ebenso haben die Pole einer Elektrizitätsquelle elektrischen Überdruck bezw. Unterdruck. Verbinden wir den einen Pol mit einer festen Platte, den anderen mit einer über der ersten aufgehängten beweglichen, so können wir durch Gewichtbelastung eines Wagebalkens die Anziehungskraft messen (Fig. 2). Dies gibt uns zugleich ein Maß für die elektrische Spannung zwischen den beiden Polen oder deutlicher ausgedrückt, für ihre elektrische Spannungsdifferenz. Ein solches Meßgerät heißt ein Elektrometer.

Nun handelt es sich darum, eine Einheit der Spannung festzustellen. Über ihre Größe können wir offenbar ganz beliebig verfügen. Die Technik benutzt als Einheit diejenige,

Digitized by Google

welche zwischen den Polen eines galvanischen Elementes von bestimmter Zusammensetzung besteht, wie sie Volta zuerst angegeben hat und nennt sie zu Ehren des italienischen Entdeckers ein Volt. Wir können also mit einem geeichten Elektrometer die Spannungen in Volt messen, wenn wir wissen, welche Belastung aufzulegen ist, wenn die Spannungsdifferenz beispielsweise 10 000 Volt beträgt oder unter welchem Winkel der Zeiger der Neigungswage ausschlägt, wenn diese Spannungsdifferenz vorhanden ist. Den Versuch mit dem Aluminiumblättchen haben wir angestellt mit einer Spannungsdifferenz von 100 Volt. Die Kräfte, welche hierbei auftraten, waren überaus winzig, einem leisen Windhauch vergleichbar.

Stärkere Spannungen können wir durch andere Mittel erzeugen; ich verwende dazu eine 50pferdige Dynamomaschine. Ein mit Metall bedeckter Tisch und 2 m darüber frei in der Luft an Schnüren hängend eine Metallkugel bilden die Pole der Maschine. Zwischen ihnen entsteht ein Raum, der von den Strahlen der elektrischen Spannungskraft durchflutet wird. Unser Leben würde in Gefahr kommen, wollten wir uns der Kugel nähern, sobald die elektrische Spannung sie erfüllt. Durch eine sinnreiche Einrichtung ist sie aber gefahrlos gemacht. Bei dem ersten Versuch behielt jeder Pol seine ihm eigentümliche Spannung unverändert bei. Hier lassen wir sie wechseln, indem wir ihre Rollen unaufhörlich vertauschen, in einer Sekunde etwa hunderttausendmal. Der Wechsel vollzieht sich so schnell, daß jede einzelne Spannung ihre Wirkung nicht bis in das Innere des menschlichen Körpers tragen und seinen Organismus gefährden kann; sie verbleibt auf der Haut und kann diese nur oberflächlich verletzen. Allerdings werden die Muskeln in Mitleidenschaft gezogen und heftig kontrahiert, eine minutenlange Berührung hat mir einst eine wochenlange schmerzhafte Muskelentzündung

Digitized by Google

am Arme eingetragen. Die Spannung ist hier allerdings beträchtlich gesteigert, das angeschlossene Elektrometer zeigt 3 Millionen Volt. Ein leises Zischen ist alles, was uns im Tageslicht das Vorhandensein dieser hohen Spannung verrät. Verdunkeln wir aber den Saal, so sehen wir von den Zu-

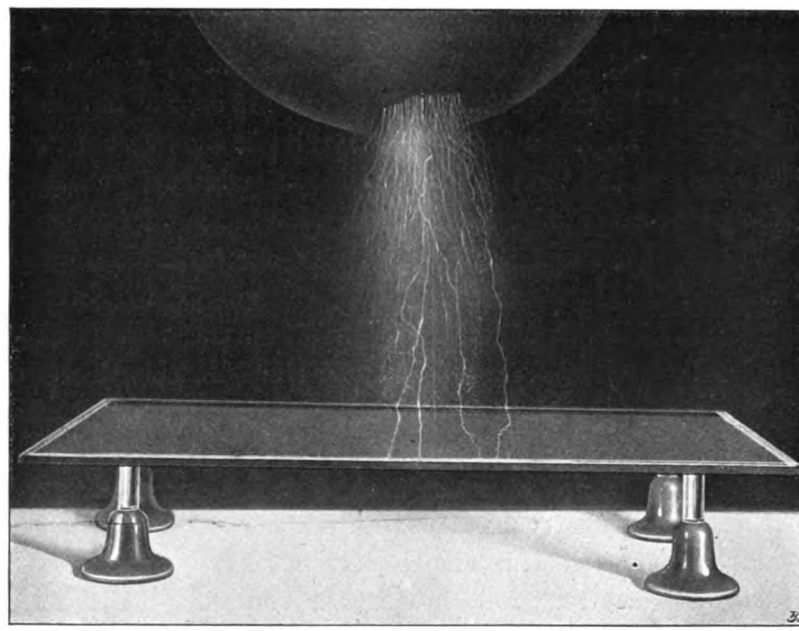


Fig. 3.

leitungsdrähten und der Kugel bläuliche Lichtstrahlen ausgehen, es ist das St. Elms-Feuer, das bei starken elektrischen Ladungen durch die Atmosphäre von den Mastspitzen der Schiffe ausstrahlt und den wetterfesten Seemann früher mit Furcht und Grauen erfüllte.

Nähern wir die Kugel der Tischplatte, so tritt ihre elektrische Spannung deutlicher in die Erscheinung: wir sehen

Digitized by Google

meterlange Blitze überspringen, indem die Spannungen sich ausgleichen, wobei sie sich einen Weg durch die Luft bahnen — wie Gewaltmenschen, die mit heftigem Stoß ein Menschengewühl durchbrechen und rücksichtslos niedertreten, was sich ihnen in den Weg stellt. Die leuchtende Spur ihrer Zerstörung zeigt uns der blitzartige Funken. Aber nur manchmal erreichen sie ihr Ziel, viele erlahmen auf dem Zerstörungswege, sie gleichen züngelnden Flammen. (Fig. 3.)

Ein elektrischer Blitz ist desto greller und leuchtender, je größere Elektrizitätsmengen an dem Ausgleich beteiligt sind. Bei den bisherigen Versuchen waren es nur geringe Quantitäten; schalten wir aber einen Ansammlungsapparat dazwischen in Form einer Leydener-Flasche, so können wir die Quantitäten künstlich steigern. Wir ersetzen dabei die Luftschicht zwischen den Polen durch einen Stoff, der dem Ausgleich einen größeren Widerstand entgegensetzt, am besten eignet sich Glas, so daß die Elektrizitäten sich ansammeln können. Die Erfindung stammt nicht aus Leyden, sie gelang vielmehr im Anfang des 18. Jahrhunderts einem Mitgliede der Familie von Kleist, der als jüngerer Sohn im Genuß einer Domherrnpräbende in dem weltabgeschiedenen Cammin sich mit elektrischen Studien sein stilles Dasein verschönte. Eines Tages experimentierte er mit einer halb mit Wasser gefüllten gläsernen Arzneiflasche, in welche er einen langen eisernen Nagel gesteckt hatte. Diesen berührte er mit dem Konduktor seiner Elektrisiermaschine, während er mit der einen Hand das Fläschchen umspannt hielt. Dadurch schaltete er zwischen seine Hand und den Nagel die ansammelnde Eigenschaft des Glases und empfing, als er zufällig den Nagel mit der anderen Hand berührte, einen starken elektrischen Schlag. (Fig. 4.) Durch brieflichen Austausch mit Leydener Freunden gelangte diese Erkenntnis an den

Digitized by Google

damaligen Zentralpunkt naturwissenschaftlicher Forschung und strahlte von dort weiter aus.

Eine große Reihe von solchen Glasflaschen haben wir jetzt zwischen die Pole geschaltet — das ohrenbetäubende Geknatter zahlloser Gewehrsalven mit dem fast unerträglichen grellen Lichtschein breiter Blitzspuren, die über den Glasrand hinweg den Ausgleich suchen, belehrt uns, daß nun auch die

Fig. 4.

Luft in starke Mitleidenschaft gezogen. Wir haben tatsächlich ein Miniaturgewitter mit Blitz und Donner erzeugt. (Fig. 5.)

Denn die Gewitter, welche die Natur uns zeigt, sind auf die gleichen Ursachen zurückzuführen. Die mit elektrischer Überspannung erfüllte, von der Decke des Saales herabhängende Kugel ist einer drohenden Gewitterwolke vergleichbar, der mit Metall belegte Tisch stellt ein Stück der Erdoberfläche dar mit elektrischem Unterdruck. Als eigent-

Digitized by Google

lichen Sitz der elektrischen Energie haben wir aber nicht diese Körper zu betrachten, sondern vielmehr den Luftraum, den sie umgrenzen. In diesem ist der elektrische Spannungs-

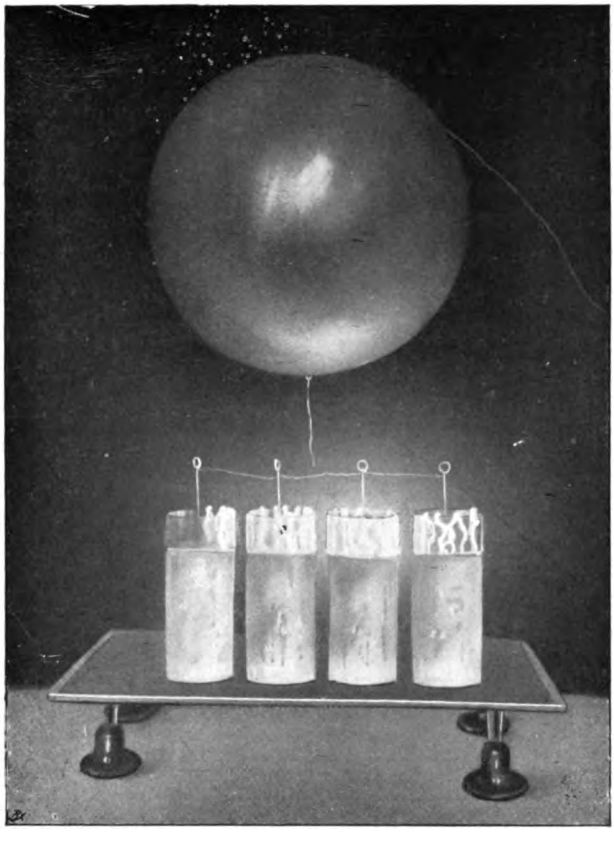


Fig. 5.

zustand zu suchen, der die Äthermassen oder das unbekannte Etwas, das sonst den Raum neben der Luft erfüllt, in so gewaltige Zerrungen und Pressungen versetzt, daß wir ihn mit einem ungeheueren Dampfkessel vergleichen können, der bei

Digitized by Google

Überschreitung der Bruchfestigkeit des Materials mit donnerndem Knall explodiert. Während aber bei diesem der entlastende Ausgleich sich durch die gesamte Masse des Dampfes vollzieht, der nach allen Richtungen expandiert, erfolgt der Ausgleich der elektrischen Spannungen in begrenzten engeren Bahnen, in denen die elektrische Energie sich in Wärme verwandelt, wobei sie den Luftkanal mit unnennbaren Temperaturen in die grellste Weißglut versetzt.

Aber wie bei der Explosion eines Dampfkessels weithin geschleuderte Eisenfetzen Verderben und Zerstörung durch den Raum verbreiten, so gehen auch von der Blitzspur Fernwirkungen aus, die nicht bloß wie der Donner durch forteilende Lufterschütterungen zustande kommen, sondern elektrischer Natur sind. Außerhalb eines Hauses niedergehende Blitzschläge lassen die elektrischen Glühlampen in demselben momentan aufleuchten und an den Telephon- und Klingelleitungen hören wir nicht selten knisternde Geräusche, die den Übergang von kleinen Fünkchen zwischen den Leitungen begleiten. Selbstverständlich bieten diese winzigen Äußerungen nicht die geringste Gefahr, sie zeigen uns aber deutlich die Verbreitung der elektrischen Kräfte durch den Raum.

Auch die in der Luft schwebenden feinsten Staubteilchen und Nebelbläschen werden dadurch in Mitleidenschaft gezogen. Die erfrischende Reinheit der Luft, die wir nach jedem Gewitter wohltuend empfinden, ist nicht allein auf das Auswaschen der Atmosphäre durch den Regen oder vermehrte Ozonbildung zurückzuführen; es findet auch eine Verdichtung der kleinen materiellen Partikel statt, wodurch sie vom Regen leichter zur Erde geführt werden und die Luft gleichsam durchsichtiger werden lassen. Eine interessante Beobachtung in dieser Richtung konnte ich einst am Leuchtturm von la Hève machen. Nach einem schwülen Tage war die Luft über

Digitized by Google

dem Meere außerordentlich unsichtig, der rotierende Strahlenkegel des Leuchtturms, der sonst mit scharf markierten Umrissen sich aus der Dunkelheit deutlich abhob, wenn er den Horizont bestrich, erschien wie ein unbestimmtes geisterhaft vorüberhuschendes Nebellicht. Da türmten sich Gewitterwolken über dem Meer und in der Ferne zuckte der erste Blitz. Mit einem Schlage war das Bild verändert — mit klaren Umrissen trat der leuchtende Strahlenkegel wieder in die Erscheinung.*)

Die verdichtende Kraft der elektrischen Spannung sollen uns einige einfache Laboratoriumsexperimente zeigen. Mit Hilfe einer an die Wasserleitung angeschlossenen engen Düse erzeugen wir eine Fontäne; der dünne gepreßte Wasserstrahl zerstäubt beim Niedergang zu einem leichten feinen Schleier, der in dem darauf gerichteten hellen Lichtstrahl eines Scheinwerfers sich nur wie ein Nebel abhebt. Nähere ich aber der Fontäne ein schwaches elektrisches Spannungsfeld in Gestalt einer geriebenen Siegellackstange, so verdichten sich die

*) Eine ähnliche Naturerscheinung bot sich im letzten Sommer den tausenden von Zuschauern, welche am Strande von Heringsdorf die zu Ehren des Zarenbesuches veranstaltete Festbeleuchtung der Hochseeflotte betrachteten. Mit eintretender Dunkelheit war die Luft dick und unsichtig geworden, so daß man kaum die einzelnen Lichter der Panzerkolosse unterscheiden konnte. Die kurzdauernde Probebeleuchtung eines Schiffes verursachte eine schwere und allgemeine Enttäuschung, nur ein mattes verschwommenes Schimmern ging von den Perlenketten aus, die die Konturen des stolzen Schiffes umzogen und ließ nur eine leise Ahnung des erhofften Genusses entstehen. Da kam ein gnädiges Geschick zu Hilfe: Hinter der Wolkenwand weit in der Ferne erhob sich ein Wetterleuchten — und klar und deutlich traten nunmehr an der langen Reihe schimmernder Festungen die leuchtenden Guirlanden mit ihren tausenden von Lichtern wie Diamanten am nächtlichen Himmel glitzernd und sprühend dem staunenden Betrachter vor Augen — ein hinreißender Anblick.

Digitized by Google

Nebelbläschen zu größeren Wassertropfen, die in dem elektrischen Licht wie Sterne funkeln. (Fig. 6a und b.)

Ein anderes Experiment verspricht die Möglichkeit einer technischen Verwertung. Durch diesen großen Glaskasten sind im Abstand von einem halben Meter parallele Drähte geführt, welche an die Klemmen einer Hochspannungsmaschine angeschlossen sind. Dadurch entsteht ein kräftiges Spannungsfeld in dem Kasten. Nun erfülle ich denselben mit einem dichten Rauchschwaden, indem ich für einige Minuten eine stark rußende Terpentinflamme darin brennen lasse, bis der Glaskasten vollständig undurchsichtig geworden. Er würde lange Zeit so bleiben. Schalte ich aber jetzt die Hochspannungsmaschine ein, so sehen Sie, wie die Rußmassen in lebhafte Bewegung geraten, dabei gleichsam zusammenfließen, in dichten schwarzen Flocken auf den weißgestrichenen Boden nieder-

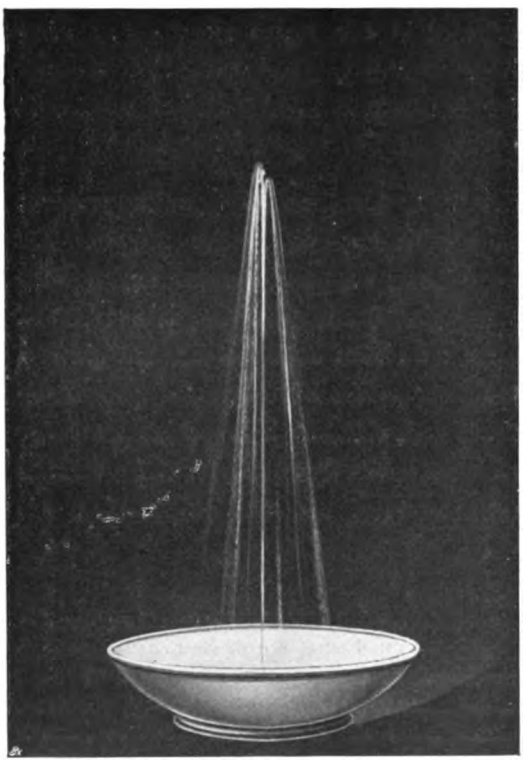


Fig. 6a.

Digitized by Google

fallen und ihn vollständig bedecken. In wenigen Sekunden ist die Luft wieder rein und der Kasten durchsichtig geworden.

Professor Lodge in Birmingham hat vorgeschlagen, mit diesem Mittel den lästigen Feind des englischen Klimas, seine unerträglichen Nebel zu bekämpfen. Mit großen Maschinen wollte er die Atmosphäre künstlich in Spannung versetzen und damit den Niederschlag des Nebels bewirken. Der Versuch zeigte zwar die Richtigkeit seiner theoretischen Spekulation aber auch zugleich die „Unzulänglichkeit", die hier zum „Ereignis" ward. Die Kraft des Niagarafalles würde nicht ausreichen, einem richtigen Londoner Nebeltag eine auch nur bescheidene Helligkeit zu verleihen.

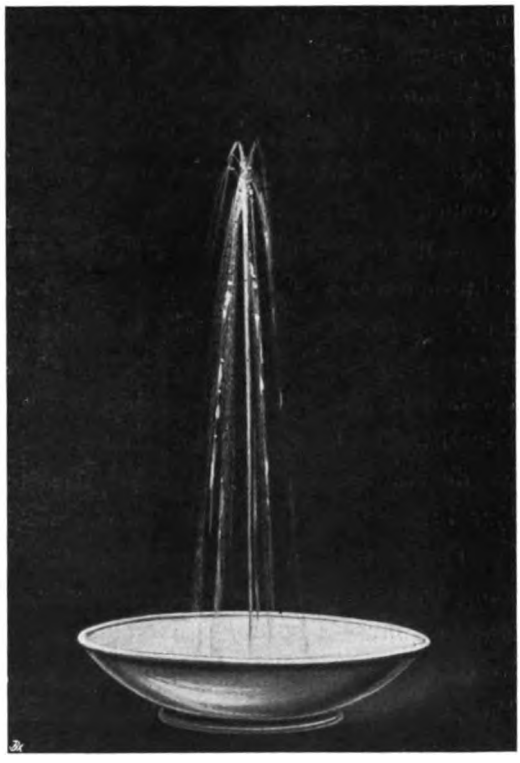


Fig. 6b.

Aussichtsvoller erscheint das Verfahren für geschlossene Räume. Einer meiner Kollegen, Professor Rietschel, wurde jüngst vor die Aufgabe gestellt, den großen Saal einer Ber-

Digitized by Google

liner Brauerei für den Sonntagsbesuch von dem entsetzlichen Tabaksqualm ohne Rauchverbot zu befreien und durch ausgiebige Ventilation die häufigen Ohnmachtsanfälle der Frauen und Kinder zu verhüten. Ein ausreichender Luftwechsel ließ sich zwar durch kombinierte Sauge- und Druckvorrichtungen mit Hilfe kräftiger Maschinen unschwer erreichen, aber die Besorgnis bestand, daß das erforderliche zugige „Mailüfterl" nicht bloß den Qualm, sondern auch die Gäste aus dem Saal vertreiben könnte. Ich schlug ihm das in Rede stehende elektrische Hilfsmittel vor und machte auch entsprechende Versuche. Ein großer Saal meines Laboratoriums wurde, etwas über Kopfhöhe, wo sich der Qualm in einer undurchdringlichen Wolke zu sammeln pflegt, von zahlreichen Drähten durchzogen und diese mit dem negativen Pol einer Hochspannungsmaschine verbunden, weil ich auf Grund von Vorversuchen mir hiervon den besten Erfolg versprach. Durch Verschwelen von einigen Kilogramm „echtesten" Varinas wurde ein vorzüglicher „Hecht" erzeugt. Nach Anlassen der Maschine zeigte sich zwar bald eine wesentliche Abnahme des Qualmes, aber eine andere höchst unangenehme Erscheinung trat dafür ein: die Haare sträubten sich und die ganze Haut erfuhr ein spitziges Kitzeln. Dazu kam die bedenkliche Nähe der elektrischen Drähte, die wie ein Damoklesschwert über den Häuptern hingen und aus denen man mit der ausgestreckten Hand dünne bläuliche Funken von beträchtlicher Länge ziehen konnte. Das Verspannen in größerer Höhe schädigte das Niederschlagen des Qualmes beträchtlich. Mein Freund gab deshalb dem „Mailüfterl" den Vorzug.

Ein anfänglicher Mißerfolg darf den Ingenieur nicht schrecken. Mir war bei diesen Versuchen, welche die stark niederschlagende Wirkung elektrischer Hochspannungsfelder deutlich gezeigt hatten, ein Gedanke gekommen, der mich im

Digitized by Google

Anfang selber förmlich elektrisierte. Könnte man nicht mit diesem Mittel das Qualmen der Schornsteine verhüten? Die Rauchbelästigung ist eine Plage, welche die zunehmende Industrie über uns verhängt hat. Wer sie beseitigt, hat volles Anrecht auf den Titel eines Wohltäters der Menschheit. Tausend Verwünschungen haben wir alle schon dem eilenden Schnellzug nachgesandt, wenn er das blühende sonnige Tal, über dem unser Auge soeben noch mit Entzücken geweilt, minutenlang mit stickigem stinkendem Qualm erfüllt. Anders allerdings auf See, da wird der qualmende Schornstein zu einer fast notwendigen belebenden Unterstützung der ganzen Szenerie. Wieviel Reize müßten unsere Marinemaler opfern, wenn sie dem gegen die Wellen ankämpfenden Panzerkoloß das sichtbare Zeichen seiner schweratmenden Maschinen rauben wollten. Hier gehört es zum Bilde und, weit vom Schuß, fühlen wir uns dadurch nicht belästigt. Nach anderer Seite hin hat die Rauchfrage aber schwere wirtschaftliche Bedenken. Der Rauch ist unverbrannter Kohlenstoff, wir vergeuden damit achtlos die Kohlenschätze, welche eine gütige Vorsehung für den Krafthunger der Menschheit aufgespeichert hat. Die Nachwelt wird uns einst als Verschwender brandmarken.

Die Anwendung des elektrischen Verfahrens erschien zunächst überaus einfach. Ehe ich mir die Schornsteine der Technischen Hochschule zur Verfügung stellen ließ, machte ich Vorversuche im Laboratorium. Ein 4 Meter hoher Blechschornstein wurde mit einer Vorkammer versehen und sorgfältig von Boden und Decke isoliert; in der Mittellinie spannte ich einen ebenso isolierten Stacheldraht aus (Fig. 7) und verband diese Teile mit den Polen der Hochspannungsmaschine. Eine Terpentinflamme in der Vorkammer versorgte den Schornstein mit dem schönsten schwarzen Qualm, der sich an der

Digitized by Google

weißen Decke des Saales ausgiebig niederschlug. Wie groß war meine Freude, als beim Einschalten der Hochspannung der dicke Qualm, wie ausgeblasen, sofort verschwand. Nicht geringer aber war die nachfolgende Enttäuschung, denn eine oberflächliche Rechnung belehrte mich, daß zur dauernden Bewältigung der Rauchmassen eines qualmenden Fabrikschornsteins, elektrische Kräfte von so enormer Größe herangezogen werden müßten, daß ihre technische Verwendung ausgeschlossen erschien. Mit dieser Tatsache mußte ich leider rechnen und die erforderliche Neuweißung der Decke neben dem Verlust der Anwartschaft auf den Titel eines Wohltäters der Menschheit war das einzige praktische Resultat.

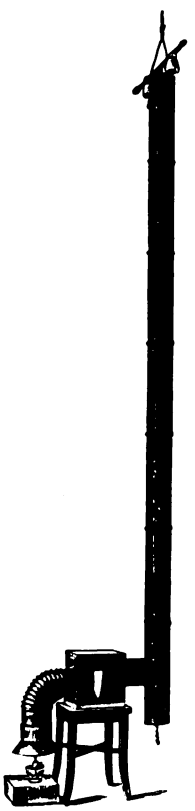


Fig. 7.

Es ist fast selbstverständlich, daß die sichtbare Wirkung, welche eine elektrisch gespannte Atmosphäre auf die in derselben schwimmenden kleinsten materiellen Teile ausübt, auch den Organismus belebter Wesen beeinflußt. Bei einigen experimentellen Studien, die mich wochenlang mehrere Stunden des Tages zu einem Aufenthalt in Hochspannungsfeldern zwangen, spürte ich eine deutliche Abspannung meiner Nerven, aber nur in wohltuender Weise, denn ich habe niemals besser geschlafen als in jener Zeit. Anders äußerten sich die Wirkungen bei meinem damaligen Gehilfen, er klagte über Magenbeschwerden und Schlaflosigkeit. Bei reichlichem Milchgenuß verschwanden indes diese Störungen. Es ist auch keine Einbildung, wenn manche Menschen das Herannahen des Ge-

Digitized by Google

witters deutlich empfinden wollen; die sogenannte Schwüle der Atmosphäre, welche uns in einen bedrückenden Zwangszustand versetzt, ist sicherlich auf elektrische Einflüsse zurückzuführen, und wir sprechen nicht unberechtigt von der befreienden Kraft des Gewitters —

Noch eben Donnergerolle
In flammender Wolkenschlacht —
Und nun die zaubervolle
Tiefe Stille der Nacht.

Die Angst vor dem Einschlagen des Blitzes und den Donnerworten, in denen der Schöpfer dabei zu uns spricht, ist dagegen unberechtigt, wenn wir uns in einem ausreichend geschützten Raume befinden.

Was ist ein ausreichender Blitzschutz? Die Anschauungen darüber haben sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich geändert. Die hochragenden Blitzableiter mit ihren vergoldeten oder Platinspitzen haben in den Augen der Sachverständigen längst ihren Kurs verloren. Als Werner v. Siemens einst gefragt wurde, warum er seine Villa in der gewitterreichen Gegend von Harzburg nicht durch Blitzableiter geschützt habe, antwortete er lakonisch: Ich werde mich hüten.

Und in der Tat, ein Versuch wird uns zeigen, daß die hochragenden Teile der Gebäude am meisten dem Blitzschlag ausgesetzt sind. Die an der Decke hängende Kugel stellt eine mit Hochspannung geladene Wolke dar, der Metalltisch hier unten, mit einer Blechplatte im Grundwasser des Parkes verbunden, einen Teil der Erdoberfläche. Wir setzen Blechmodelle von hochragenden Türmen mit und ohne Blitzableiter und von niedrigen Gebäuden darauf. Sie sehen, der Blitz wählt ausnahmslos den kürzesten Weg zum Metall und damit zur Erde. (Fig. 8 und 9.)

Digitized by Google

Ob das Gebäude an seiner höchsten Stelle mit einem Blitzableiter versehen ist oder nicht, bleibt völlig bedeutungslos. Franklin ließ sich bei seiner Erfindung von der Anschauung leiten, daß die Entladung aus Spitzen leichter und allmählicher vor sich geht, wie etwa bei dem St. Elms-Feuer, und darum einen zur Blitzentladung führenden plötz-

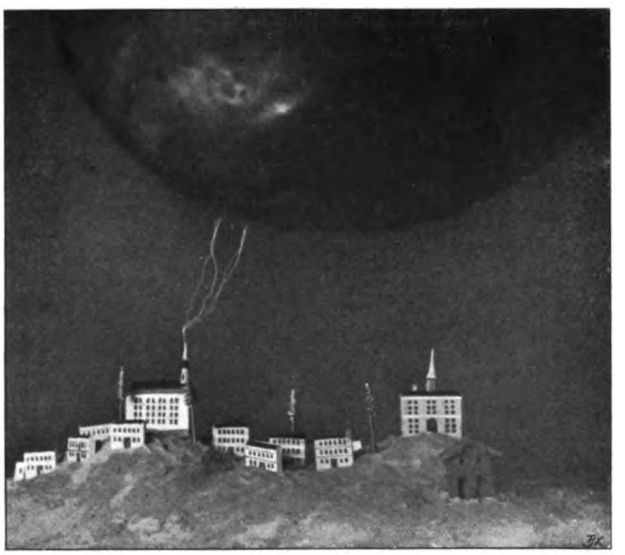


Fig. 8.

lichen Ausgleich verhütet. Gegenüber den gewaltigen Energiemengen einer Wolkenladung spielt die Spitzenwirkung nur eine untergeordnete Rolle. Ein unter übermäßigem Druck stehender Dampfkessel bleibt vor der Explosion nicht bewahrt, wenn auch aus einem feinen Riß vorher etwas Spritzwasser austritt.

Wäre der Blitz nun unter allen Umständen und immer nur ein einmaliger Ausgleich der Ladungen, so würde der

Digitized by Google

Fig. 9.

Digitized by Google

Blitzableiter zwar einen häufigeren Blitzschlag verursachen, denselben aber ohne Schädigung des Gebäudes zur Erde führen. Neuere Forschungen haben aber gezeigt, daß die meisten Gewitterblitze ebenso einen oscillierenden Entladungscharakter tragen wie die Funken, mit denen die drahtlose Telegraphie arbeitet. Blitzphotographien mit schnell bewegter Kamera lassen deutlich mehrfache aufeinanderfolgende Entladungen erkennen. Es sind Entladungsströme wechselnder Richtung, die mit ungeheuerer Frequenz aufeinanderfolgen, wobei sie in ihrer Stärke allmählich abnehmen. Die Gesetze, welche die gedämpften Wechselströme befolgen, beherrschen somit auch den gewaltigen elektrischen Naturvorgang. Es sind überaus schnelle Pulsationen, um die es sich dabei handelt und die Eigenart ihres Verhaltens ist abweichend von den Gesetzen, welche Ströme gleichbleibender Richtung befolgen. Sie schaffen sich selber Hindernisse und Widerstände auf ihrem Wege, die nicht bloß wie beim Gleichstrom von der Natur der durchlaufenen Bahn, sondern von der Geschwindigkeit ihres Wechsels abhängen. Man nennt sie Selbstinduktions- oder induktive Widerstände.

Aus einigen Experimenten werden wir ihre Natur erkennen. Führen wir einen Gleichstrom durch einen Kupferdraht, so werden wir die Wirkung durch eine geringe Erwärmung des Drahtes verspüren, wir stellen uns dabei vor, daß der Draht dem Durchgang des Stromes nur einen geringen Widerstand entgegensetzt. Führen wir denselben Strom durch den Kohlenbügel einer Glühlampe, so steigert sich die Wärmewirkung bis zur Lichtentfaltung; wir schließen daraus, daß der Widerstand, durch welchen die elektrische Entladung, denn als solche haben wir den Strom aufzufassen, sich gleichsam hindurchzuzwängen hat, mehrere tausendmal größer ist. Verbinden wir nun die beiden Widerstände mit ihren Endpunkten, indem

Digitized by Google

wir eine Schleife, eine Verzweigung bilden, und wenden wir an den Verbindungspunkten die gleiche elektrische Spannung an wie vorher, so bleibt der Kohlenfaden völlig dunkel. Der größte Teil des Entladungsstromes wählt den Weg durch den geringeren Widerstand des Kupferdrahtes und nur ein winziger Bruchteil des früheren Stromes zwängt sich durch den größeren Widerstand des Kohlenfadens. Der Strom bevorzugt also den Weg des geringeren Widerstandes, der einzig und allein von der Natur des Weges, hier aus Kupfer, dort aus Kohle bestehend, bedingt ist. (Fig. 10.)

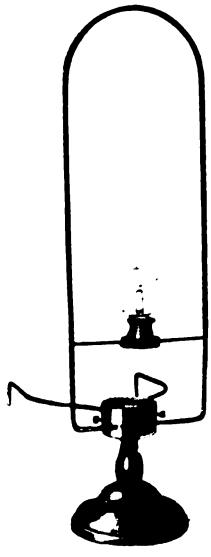


Fig. 10.

Nun wollen wir denselben Versuch mit Hochfrequenzstrom anstellen, wir verwenden dabei einen Strom, der viele tausendmal in der Sekunde seine Richtung wechselt. Wir sehen nunmehr die Lampe hell aufleuchten. Der Kupferdraht bietet also jetzt einen größeren induktiven Widerstand dar als der dünne Kohlenfaden. Mit der Steigerung der Frequenz würde der Widerstand noch weiter zunehmen. Ersetzen wir dagegen den Kupferdraht durch ein breites Kupferband, so nimmt das Leuchten des Kohlenfadens ab, ein Beweis dafür, daß für den induktiven Widerstand des Kupfers weniger der metallische Querschnitt, als vielmehr die Oberfläche maßgebend ist. Und in der Tat lehren uns auch zahlreiche andere Erscheinungen, daß die elektrischen Gleichströme zwar den gesamten Quer-

Digitized by Google

schnitt eines Drahtes erfüllen, daß aber die Hochfrequenzentladung lediglich die Oberfläche desselben benutzt und kaum $^1/_{100}$ mm tief in den Querschnitt eindringt. Ein Rohr von dünnster Blechstärke bietet keinen größeren Widerstand als ein massiver Barren von gleichem Material und gleichem Durchmesser.

Wollen wir also für die Blitzableitung eines Hauses einen tunlichst geringen Widerstand schaffen, so dürfen wir keinen einfachen Draht verwenden, sondern möglichst viele breite Bänder und Metallrohre. Am besten benutzt man die bereits vorhandenen metallischen Bekleidungen, die Zinkbedeckungen am First und an den Dachkanten des Giebels, die Dachtraufen, Gossen und Abflußröhren, indem man diese Teile mit einander in gute metallische Verbindung bringt. Hierdurch erzeugen wir eine großflächige Ableitung zur Erde, die tausendmal sicherer das Haus beschützt als der beste übliche Blitzableiter. Die statistischen Aufzeichnungen der Feuerversicherungsgesellschaften zeigen, daß die Blitzgefahr in Deutschland besonders für das flache Land von Jahr zu Jahr zunimmt. Viele Millionen werden dem Nationalvermögen jährlich durch Brandschäden entzogen, und die zwangsweise Auflage von kostspieligen Blitzableitern, die man in einzelnen besonders gefährdeten Gegenden fordert, belastet den kleinen Bauer in ganz ungebührlicher Weise. Darum fort mit allen Blitzableitern, die unter Umständen ein Haus erst recht gefährden. Denn die Fälle sind nicht selten, wo die Blitzableitung einen großen induktiven Widerstand besitzt, den eine Messung mit Gleichstrom gar nicht erkennen läßt, und der Blitz durch Überspringen auf andere Metallmassen oder Leitungen im Hause sich selber einen bequemeren Weg zur Erde sucht.

Lehrreich in dieser Beziehung ist ein Blitzschlag in ein Pulvermagazin bei Spandau, der sich vor einigen Jahren

Digitized by Google

ereignete. Das Gebäude war mit Blitzableitern versehen und ihr Widerstand durch Messungen mit Gleichstrom alljährlich nach Vorschrift kontrolliert. Der Blitz fuhr in eine Auffangestange an der Ecke des Gebäudes, verließ dieselbe aber, indem er übersprang auf die gefüllten eisernen Pulverbehälter, die im Hause aufgeschichtet lagen. Er durcheilte die ganze Reihe und fuhr an der gegenüberliegenden Ecke in ein Abflußrohr. Der gefährliche Spaziergang endete völlig harmlos. Um so grauenvoller war die Verheerung durch die Explosion eines Pulvermagazins bei Marseille, die durch einen Blitzschlag verursacht wurde.

Ungefährlich sind dagegen stets Blitzschläge in die großen Gasbehälter der Städte; die aus Eisenblech genieteten schwimmenden Glocken derselben bilden an sich schon die idealste großflächige Ableitung zur Erde. Vor kurzem hatte ich einen Fall zu entscheiden, wo die Aufsichtsbehörde für einen neu erbauten Gasometer mit Nachdruck die Anbringung eines Blitzableiters verlangte. Leider habe ich das ungläubige Kopfschütteln über die Entscheidung der obersten Instanz nicht genießen können. Überaus langsam nur dringt neue Naturerkenntnis in die träge Masse eines großen Verwaltungskörpers, langsamer noch in die breiten Schichten des Volkes. Hier blüht noch heute der krasseste Aberglaube, und nicht bloß in Oberbayern, wo man die Kirchenglocken läutet, um den Blitz zu verjagen — fulgura frango!

Doch die zweckmäßigsten Ableitungsvorrichtungen würden für den Blitzschutz versagen, wenn man nicht die ebenso wichtige Erdverbindung nach richtigen Grundsätzen gestaltete. Früher betrachtete man die Erde als eine große leitende Kugel, die an allen Stellen vollkommen gleiche und konstante elektrische Spannung besitzt, an der Oberfläche umkleidet mit weniger gut leitenden Massen. Drang man

Digitized by Google

bis in die leitenden Schichten vor, so glaubte man dort eine völlig gleichartig unter Spannung stehende Schale zu finden, von so ungeheuerer zusammenhängender Oberfläche, daß die dort angehäufte Elektrizitätsmenge ihre Spannung nicht ändern könnte, wenn ein weiterer Zugang von außen dazutrat oder etwas nach der Atmosphäre hin abfloß.

Die Gesetze der schwingenden Elektrizität, welche man seitdem kennen gelernt hat, treffen nicht bloß auf leitende Drähte, sondern ebenso auch auf große leitende Oberflächen zu. Eine an irgend einer Stelle zugeführte Elektrizitätsmenge breitet sich auch auf diesen mit allen Kennzeichen der Wellenbewegung aus, so daß wir in den leitenden Schichten der Erde ähnliche Spannungswellen voraussetzen dürfen wie auf einer sturmgepeitschten Meeresfläche. Die Schichten von geringerer Leitfähigkeit, welche sie bedecken, vermehren nur noch die gewaltigen Spannungsschwankungen.

Die Ladung, welche ein einschlagender Blitz der Erde zuführt, wird nun um so leichter aufgenommen und verschwindet um so unschädlicher, je größere Aufnahmefähigkeit oder Kapazität an der Einschlagstelle in Form von gut leitenden Massen in der Erde vorhanden ist. Auf den Grundwasserspiegel allein darf man sich hier nicht verlassen, derselbe ist starken Schwankungen unterworfen und nicht immer mit Sicherheit zu erreichen. Auch die Einbettung von quadratmetergroßen Metallplatten in feuchtes Erdreich bietet gegenüber den durch den Blitz zugeführten gewaltigen elektrischen Ladungen kein hinreichendes Schutzmittel, wie zahlreiche Blitzschläge gelehrt haben.

Erst das Studium der bei der abgestimmten Funkentelegraphie maßgebenden Verhältnisse hat den Elektrotechniker auf zuverlässigere Bahnen geführt. Die sichere Zeichengebung hängt von der Innehaltung genau bemessener

Digitized by Google

Wellenlängen und der unverrückbaren Lage ihrer Knotenpunkte ab. Nur eine Stelle von großer elektrischer Kapazität kann den Knotenpunkt dauernd innehalten. Ideale Verhältnisse bietet in dieser Beziehung das gutleitende Salzwasser des Meeres, unterstützt durch die gewaltigen eisernen Massen der Schiffskörper. Bei der Marine hat deshalb auch die abgestimmte Funkentelegraphie ihre frühesten und nachhaltigsten Triumphe gefeiert, dort hat sie den Nachweis ihrer sicheren Wirksamkeit erbracht.

Schwieriger war die Lösung bei den Landstationen. Erst als man dazu überging, große Metallmassen in Form von radial ausstrahlenden Drähten in den Erdboden zu verlegen und mit den hochgeführten Sende- und Auffangedrähten zu verbinden, hat man zufriedenstellende Resultate erzielt. Bei der großen Telefunkenstation in Nauen dienen zur Ausbildung sicherer Knotenpunkte 54 km Draht, der in 324 ausstrahlenden Furchen von 200 m Länge 25 cm tief in den Erdboden versenkt ist. Die elektrischen Energiemengen, die bei dieser Station in Form von künstlichen Funkenentladungen zur Anwendung kommen, nähern sich schon den Verhältnissen wirklicher Blitzschläge. Man kann nur sagen, daß eine Blitzableitung einen um so größeren Schutz gewährt, je mehr ihre Erdverbindung sich einem idealen Knotenpunkte für oscillierende Ladung nähert. Die Funkentelegraphentechnik hat Meßinstrumente ausgebildet, um diese Eigenschaft mit untrüglicher Sicherheit zu kontrollieren.

Einen Jahrzehnte langen erbitterten Kampf haben die Elektrotechniker mit den Stadtverwaltungen geführt, weil diese den Anschluß der Gebäudeblitzableiter an die vorhandenen Gas- und Wasserleitungen nicht zuließen. Man bestand mit Hartnäckigkeit auf der Anordnung unzuverlässiger besonderer Erdplatten, während das ausgedehnte unterirdische

Digitized by Google

Metallnetz der städtischen Leitungen dem gegenüber einen absolut sicheren Schutz verhieß. Heut ist der Widerstand gebrochen, in einigen Städten wird jetzt sogar der Anschluß an die Wasserleitung von der städtischen Behörde gefordert. Feinde des Fortschritts sind heut nur noch die Fabrikanten von Blitzableitern, welche nach „alten bewährten“ Rezepten ihre kostspieligen Konstruktionen anpreisen und in weiten Kreisen als die eigentlichen Sachverständigen angesehen werden.

Hoffentlich ist die Zeit nicht fern, wo die hochragenden Auffangstangen von unseren Gebäuden verschwinden und der Baumeister allein durch zweckmäßige Ausbildung und Verbindung der Metallteile an Dächern und Fassaden einen unauffälligen Metallkäfig gestaltet, in dessen Schutz das Gebäude und seine Bewohner sicherer vor Blitzschaden bewahrt sind als „Dorchläuchting“ vermeintlich in seinem Glaskäfig nach den mißverstandenen Belehrungen seines „Konrekters“.

Digitized by Google

2.

In den Fluten der Strömung.

Das 18. Jahrhundert kannte von den Äußerungen der Elektrizität nur ihre Spannkraft, die man durch Reibung verschiedener Stoffe hervorrief. Am Anfang des Jahres 1800 lief bei dem Präsidenten der Royal Society, der englischen Akademie der Wissenschaften, das Schreiben eines Italieners namens Volta ein, das der Welt Kunde gab von der Entdeckung einer neuen bis dahin völlig unbekannten elektrischen Erscheinung. Es enthielt die Beschreibung der ersten elektrischen Batterie, aus welcher die elektrischen Kräfte wie aus einem sprudelnden Born in fast unerschöpflicher Fülle hervorquellen. Einem ruhigen Strome vergleichbar ergießen sie sich in das Rinnsal einer metallischen Leitung.

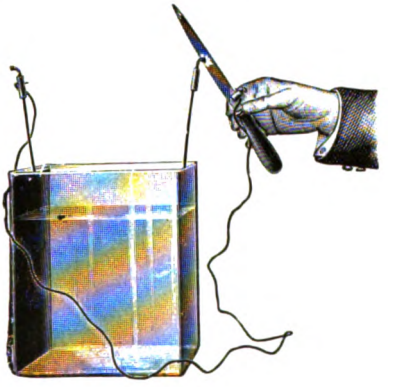


Fig. 11.

Mit wenigen Worten ist die große Entdeckung zu beschreiben. Stellt man in ein Gefäß, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, zwei Platten aus verschiedenen Metallen, etwa Kupfer und Zink, gegenüber, so nehmen die Platten elektrische Spannung an mit einem Überdruck am Kupfer und einem Unterdruck am Zink.

Digitized by Google

Verbinde ich mit den beiden Polen dünne Drähte, schlinge den einen um eine Feile und fahre mit dem andern darüber hin, so zeigt uns ein lebhaftes Funkensprühen das Vorhandensein dieser Spannung. (Fig. 11.) Dabei verspürt meine Hand eine Erwärmung des Drahtes. Vereinige ich beide zu dauernder metallischer Berührung, so erkennen wir bald eine gesteigerte Wärmewirkung an dem Rauchen der verkohlenden Umspinnung. (Fig. 12.) Es ist ein Ausgleich der elektrischen Spannungen, der sich dabei vollzieht und Wärme produziert auf Kosten eines chemischen Prozesses, denn wir nehmen wahr, daß das Zink sich auflöst, sich dabei mit Sauerstoff verbindet, also verbrannt wird.

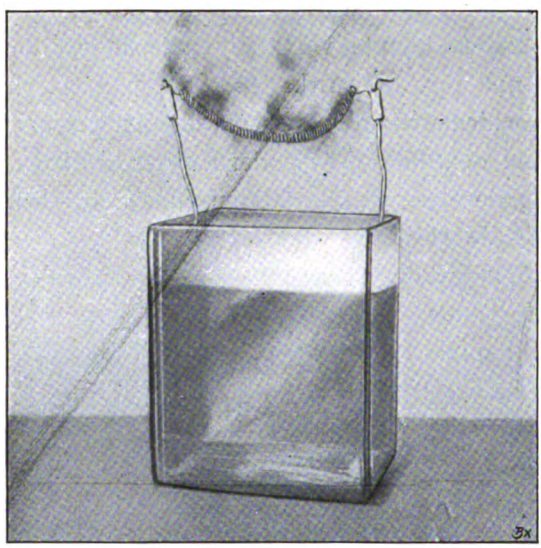


Fig. 12.

Was spielt sich dabei im Innern des Drahtes ab? Wir wissen es nicht. Die Natur des elektrischen Stromes, denn so nennen wir den Vorgang, führt den Forscher an die Grenzen der Erkenntnis. Aber wo das Wissen versagt, leitet uns wiederum dichterische Phantasie: Wir denken an ein wirkliches Strömen der elektrischen Eigenschaft, ähnlich wie das Strömen einer Flüssigkeit durch ein enges Rohr. Wollen wir

Digitized by Google

durch ein dünnes eisernes Rohr einen Wasserstrahl pressen, so brauchen wir dazu eine Druckdifferenz, an der Eintrittsstelle muß Überdruck, an der Austrittsstelle Unterdruck herrschen. Denken wir uns das Rohr nicht bloß von mini-

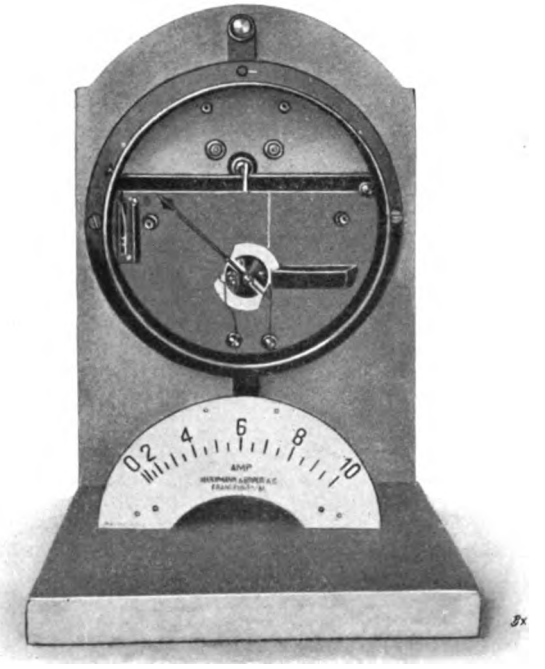


Fig. 13.

malem Querschnitt, sondern auch noch gefüllt mit zahllosen engmaschigen Sieben, so wird das eingepreßte Wasser sich durch gewaltige Reibung erwärmen. Keine Erklärung soll dies sein, sondern nur ein Mittel, unsere Unterhaltung zu erleichtern, denn der Verstand denkt gerne in Bildern.

Zur Messung der Stärke der Strömung ziehen wir wieder ihre wahrnehmbaren Wirkungen heran: Die Erwärmung des

Digitized by Google

Drahtes könnte dazu dienen. Tauchen wir den stromführenden Draht in Wasser, so gibt uns die Erwärmung desselben innerhalb einer bestimmten Zeit, gemessen am Thermometer, ein Maß für die Stärke der Strömung. Auch indirekt könnten wir die Erwärmung messen. Nicht nur der Quecksilberfaden des Thermometers, sondern auch der stromführende Draht erfährt durch die Wärme eine Verlängerung. Bei den sogenannten Hitzdrahtinstrumenten ist dies benutzt. Man spannt einen dünnen Draht von hoher Schmelztemperatur aus und führt den zu messenden Strom hindurch. (Fig. 13.) Die Durchbiegung infolge der Erwärmung mißt ein zweiter Draht, der in der Mitte des ersten befestigt, sich über eine Rolle schlingt und durch eine Spiralfeder gespannt wird. Der Zeiger der Rolle spielt über einer Skala, welche in der Abbildung herausgenommen und nach unten verlegt ist.

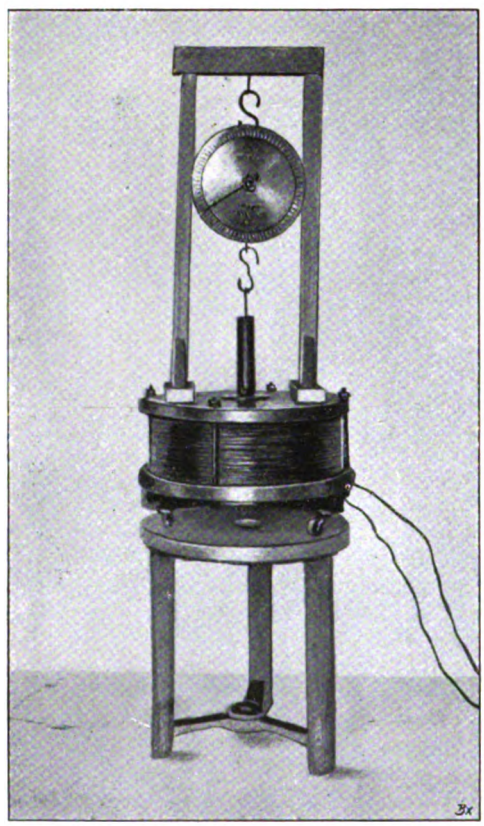


Fig. 14.

Zwanzig Jahre nach Volta entdeckte der Däne Oersted

Digitized by Google

eine neue Äußerung des Stromes — die Ablenkung der Magnetnadel; bald darauf Arago die Kraftwirkung auf Eisen. In Fig. 14 ist ein Draht in vielen Windungen auf eine Rolle gewickelt, ähnlich einer Garnspule. Führen wir Strom durch den Draht, so übt die Spule eine kräftige Wirkung auf einen darüberhängenden Eisenstab aus. Er hängt an einer Federwage. Bei Stromschluß schnellt der Zeiger auf 34,5 kg. Die Fig. 15 zeigt die Einrichtung eines darauf gegründeten Meßapparates unter Verwendung des Prinzips der Neigungswage.

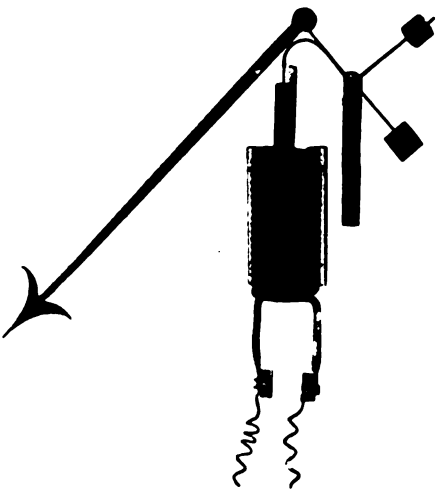


Fig. 15.

Ich befreie den Eisenstab jetzt von der Feder und stelle ihn unter die Spule auf den Tisch. Der schwere Barren wird wie von unsichtbaren Händen in die Höhe gezogen und schwebt, gleichsam von der Schwerkraft befreit, frei in der Luft. (Fig. 16.) Versetze ich ihm einen Stoß, so tanzt er auf und nieder und kommt erst nach mehrfachen Schwingungen zur Ruhe. Führe ich einen zweiten eisernen Barren von unten heran, so wird er meinen Händen entrissen und von dem oberen wie mit einer Klaue gehalten. (Fig. 17.) Starke Kräfte

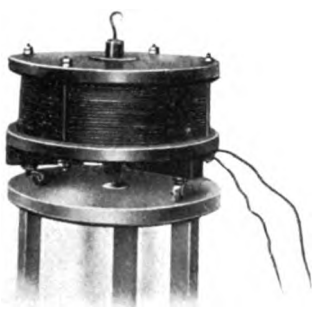


Fig. 16.

Digitized by Google

gehen von dem Eisenstab aus, ein Bündel eiserner Drähte zeigt uns ihre Richtung. (Fig. 18.) Die Technik hat sich diese Wirkungen zunutze gemacht. Das Bild auf der weißen Fläche zeigt uns den Fanghaken eines modernen Krans, der nicht nur elektrisch betrieben wird, sondern auch das Transportstück selbst, eine eiserne Platte, mit magnetischer Klaue vampyrartig erfaßt. (Fig. 19.)

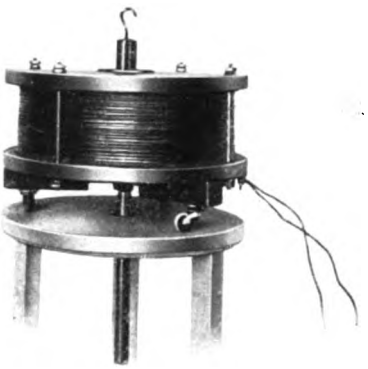


Fig. 17.

Die sichersten Mittel zur Messung der Ströme bieten aber ihre chemischen Wirkungen; hier stellt sich uns ein außerordentlich feines Forschungsmittel zur Verfügung: Die chemische Wage.

Die scheidende Wirkung des elektrischen Stromes auf zusammengesetzte chemische Verbindungen wurde bald nach Volta bekannt. Schon Alexander von Humboldt studierte die Wasserzersetzung. Wenn wir eine Volta-Batterie als Stromquelle wählen und wie es üblich ist, den Kupferpol mit Überspannung durch einen längeren Strich, den Zinkpol mit Unterspannung durch einen kürzeren Strich bezeichnen, so zeigt die Fig. 20, wie wir den Strom durch eine chemisch zusammengesetzte

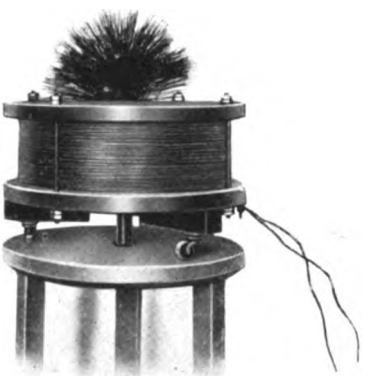


Fig. 18.

Digitized by Google

Flüssigkeit leiten können. In das Glasgefäß, das sie enthält, sind zwei Platten gestellt, welche die chemische Flüssigkeit nicht angreift. Diese werden in die Leitung und damit eine flüssige Schicht in den Stromkreis geschaltet. Wählen wir zunächst Wasser, das durch einen Tropfen Säure leitend gemacht ist — reines Wasser dürfen wir nicht nehmen, da es dem Durchgang des Stromes ein zu großes Hindernis bietet, — und schließen wir den Stromkreis durch Verbindung mit den Polen der Stromquelle, so sehen wir an den Platten des Zersetzungsgefäßes Gasblasen aufsteigen. Es sind, wie die chemische Untersuchung ergibt, die Bestandteile des Wassers: Sauerstoff und Wasserstoff. Fängt man die Gase in einem gemeinschaftlichen Gefäße auf, so vereinigen sie sich wieder zu Wasser, sobald man einen elektrischen Funken hindurchschlagen läßt.

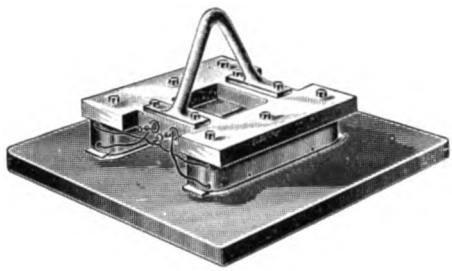


Fig. 19.

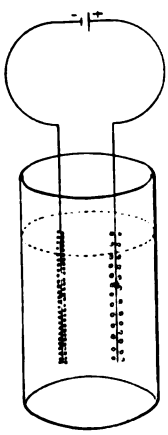


Fig. 20.

Völlig geklärt wurde die chemische Zersetzung erst, als Faraday das Studium derselben begann. Dies geschah im Jahre 1830 und da ab datiert eine erstaunliche Fülle der interessantesten Forschungsergebnisse, die wir fast ohne Ausnahme Faraday verdanken und die den Grund legten zu der heutigen Blüte der elektrochemischen Industrie. Faraday war Lehrer an einem öffentlichen Institut Londons: der Royal Institution, etwa

Digitized by Google

vergleichbar unserm Gewerbe-Museum, nur mit ausgesprochen technisch-wissenschaftlicher Richtung. Mit reichen Privatmitteln wurde das Institut begründet und es gehört in England zum guten Ton, Mitglied dieser Gesellschaft zu sein.

Faraday legte seinen Studien das Strömungsprinzip der Elektrizität zugrunde. Welches war aber die Richtung der Strömung? Offenbar geht die Wirkung von beiden Polen zugleich aus und das Natürlichste wäre die Annahme zweier Strömungen. Das hätte die Betrachtung außerordentlich erschwert. Faraday führte deshalb nur eine Stromrichtung ein und zwar einer naheliegenden Vorstellung entsprechend, von dem Pole des Überdrucks zum Unterdruck der elektrischen Quelle. Die Eintrittsstelle in die Zersetzungszelle nannte er Anode, die Austrittsstelle Kathode, beide zugleich die Elektroden des elektrolytischen Prozesses. Der durch Zersetzung entstandene Wasserstoff scheidet sich immer an der Kathode aus, wandert also in Richtung des Stromes. Ebenso die Metalle, welche aus einer Metallsalzlösung sich abscheiden. Führen wir uns den Prozeß an einigen Bildern vor Augen, belauschen wir gleichsam den interessanten Naturvorgang.

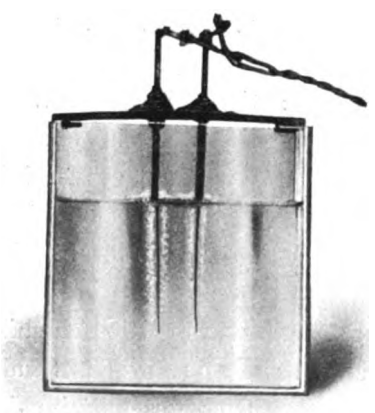


Fig 21.

Zunächst die Wasserzersetzung. Vor der elektrischen Lampe steht ein Glasgefäß mit planparallelen Wänden.

Digitized by Google

Auf dem weißen Projektionsschirm sehen wir die beiden Elektroden, die in der Form von Platindrähten in das Wasser tauchen. (Fig. 21.) Lassen wir Strom eintreten, so bedecken sich beide mit Gasblasen, die sich ablösen und wie Perlen nach oben wirbeln — der Wasserstoff links, der Sauerstoff rechts. Der erste hat das doppelte Volumen des letzteren, ist an der Größe und Zahl der Perlen deshalb sofort zu erkennen.

Ein zweites Bild zeigt uns die Zersetzung einer Bleisalzlösung, des Bleizuckers. (Fig. 22.) Die Anode ist doppelt ausgebildet in Form von zwei Vertikalstreifen aus Blei, sodaß der Strom von zwei Seiten auf die in der Mitte befindliche Kathode übertritt, gleichfalls aus Blei und in Form eines verästelten umgekehrten Baumes. Ein reizvolles Schauspiel entwickelt sich vor unseren Augen. In überaus zarten federartig gegliederten Teilchen schießt das ausgeschiedene Blei gleichsam aus den Ästen des Baumes hervor und belaubt ihn — wir schauen in das Geheimnis des Werdens. Schade, daß Sie an diesem Bilde — da es ein Schattenbild ist — den wundervollen Glanz der glitzernden Bleikrystalle nicht wahrnehmen können.

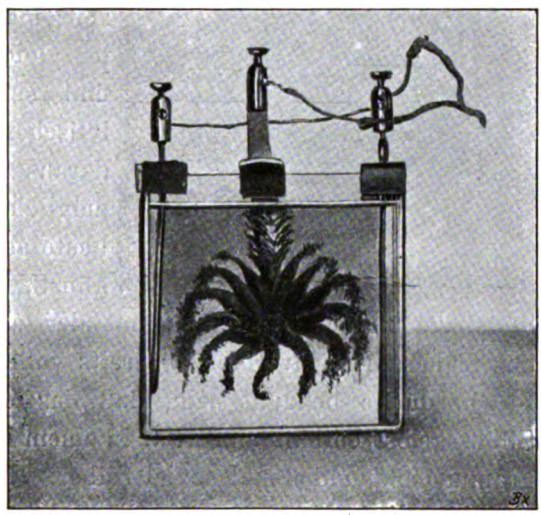


Fig. 22.

Digitized by Google

Der nächste Prozeß zeigt die Abscheidung des Silbers, eine elektrolytische Scheideanstalt. Die Flüssigkeit ist eine Höllensteinlösung, die Kathode ein Silberstift. Aus ihm quillt das Silber gleichsam hervor und überschüttet den Boden mit einem Silberregen — ein verlockender Anblick. (Fig. 23.)

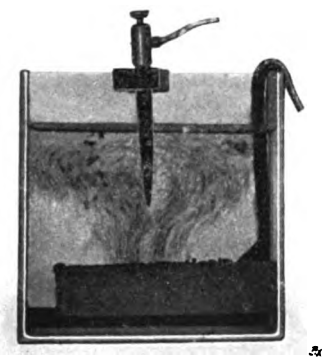


Fig. 23.

Gold kann man in gleicher Weise abscheiden, man hat nur ein Goldsalz in Lösung zu bringen. Darauf beruht die Goldgewinnung der Neuzeit: man löst die zerkleinerten Golderze in Cyankalium und scheidet auf elektrolytischem Wege das Gold daraus ab. Es ist dadurch möglich geworden, die Ausbeute selbst geringerer Erze günstig zu gestalten. In Südafrika und in Australien hat der elektrolytische Prozeß das frühere Waschverfahren bereits vollkommen verdrängt.

Es dürfte bekannt sein, daß das Meerwasser Gold und Silber gelöst enthält und zwar in einem Kubikmeter 0,6 Milligramm Gold und 6 mal soviel Silber. Ein spekulativer Kopf, ein ehemaliger Methodistenprediger, hatte vor einigen Jahren eine Aktiengesellschaft auf die Gewinnung des Goldes aus dem Meerwasser gegründet. In seinem glänzenden New-Yorker Bureau zeigte er den Interessenten Goldbarren, die er aus dem Wasser des atlantischen Ozeans durch Elektrolyse gewonnen haben wollte. Als etliche Millionen eingezahlt waren, verschwand er mitsamt seinen Goldbarren.

Ein Spaßvogel hat bei dieser Gelegenheit ausgerechnet, um welche Mengen es sich wohl handeln dürfte. Wenn in

Digitized by Google

einem Kubikmeter Seewasser 0,6 Milligramm Gold sind, so enthalten sämtliche Meere über 5000 Billionen Mark, und wenn man diese an die Einwohner der Erde verteilen würde, käme auf jeden die stattliche Summe von $3^1/_2$ Millionen. Wollte man auch das Silber verteilen, von dem sechsmal soviel im Meerwasser vorhanden, so würde sich der Reichtum des Einzelnen nur um 300 000 Mk. vermehren. Es ist vielleicht gut, daß dies Projekt aussichtslos ist, denn die dafür aufzuwendende elektrische Kraft repräsentiert sicherlich mehr noch als diesen Wert.

Faraday hat sich nun nicht bloß darauf beschränkt, eine Terminologie zu geben, er hat auch ein wichtiges Naturgesetz gefunden. Er führte den gleichen Strom durch eine Reihe von elektrolytischen Zellen, mit Lösungen verschiedener Metallsalze gefüllt. Wurde in der ersten Kupfer abgeschieden, und in der zweiten Zelle Silber, dessen chemisches Äquivalentgewicht etwa dreimal größer ist, so fand sich nach einiger Zeit, daß auch dreimal soviel Silber als Kupfer entstanden war. Die in gleicher Zeit durch denselben elektrischen Strom niedergeschlagenen Metallgewichte verhalten sich immer wie ihre chemischen Äquivalentgewichte. Diese sind aber mit Hilfe der chemischen Wage auf das genaueste bestimmbar. Sucht man nun nach einem Einheitsmaß für den Strom, so wird man zweckmäßig ein Metall wählen, bei welchem die Messung möglichst genau geschehen kann. Das wäre ein Stoff mit hohem Äquivalentgewicht. Ein solcher ist das Silber. Man hat deshalb als Einheit festgesetzt diejenige Strömung, welche in 1 Sekunde rund 1 Milligramm Silber auf der Kathode niederschlägt und benannte sie nach dem großen französischen Forscher Ampère. Diese Einheit ist wie in andern Ländern auch in Deutschland durch Gesetz festgelegt. Es wurde vorbereitet von der physikalisch-tech-

Digitized by Google

nischen Reichsanstalt und die Einheit in übertriebener Verdeutschung ein Amper genannt. Die deutschen Elektrotechniker erhoben Widerspruch, da sie nicht einsahen, was das bayrische Flüßchen gleichen Namens damit zu tun hätte. Schließlich hat man im Reichstag einen Kompromiß geschlossen, uns das e zurückgegeben und der Reichsanstalt zuliebe den Akzent geopfert. Die offizielle Schreibart ist jetzt also: Ampere. Möchten doch alle Differenzen im Reichstag so friedlich geschlichtet werden.

Ein elektrischer Strom entsteht erst dann, wenn wir die Pole einer Batterie durch eine metallische Leitung verbinden. Unabhängig davon besteht die Spannungsdifferenz an den Polen, dieselbe ist auch vorhanden, wenn wir die Leitung unterbrechen. Als Einheit der Spannung rechnen wir diejenige des Volta-Elementes und nennen sie ein Volt. Zwischen der Spannung und dem Strom besteht ein Zusammenhang, dessen Entdeckung ein Ruhmestitel der deutschen Forschung ist. Sie glückte dem Physiker Ohm, der in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts in Berlin als Lehrer an der Kriegsschule gewirkt hat. Den größten Teil seines Lebens hat er in Nürnberg und München verbracht, wo man ihm auch ein Denkmal errichtet hat. Unvergeßlich bleibt mir die Enthüllungsfeier, an der auch die elektrischen Kräfte der Natur mit einem starken Gewitter teilnahmen, so daß die Blitze minutenlang die Bildsäule des Forschers umzuckten.

Das nach ihm benannte Gesetz werden wir am schnellsten verstehen, wenn wir den Versuch zu Hilfe nehmen. Ich habe hier (Fig. 24) durch ein Voltaelement zwischen den Punkten *A* und *B* eine Spannungsdifferenz von 1 Volt erzeugt. Die Zuleitungsdrähte, welche besonders dick gewählt sind, können wir vernachlässigen und den Zickzackdraht *A B* als eigentliche Schließungsleitung betrachten. Das Amperemeter

Digitized by Google

zeigt einen Strom von 1 Ampere. Jetzt will ich die Spannung verdoppeln durch Einschaltung eines zweiten Elementes (Fig. 25), der Zeiger des Strommessers rückt auf 2 Ampere. 3 Volta-Elemente würden uns 3 Ampere liefern.

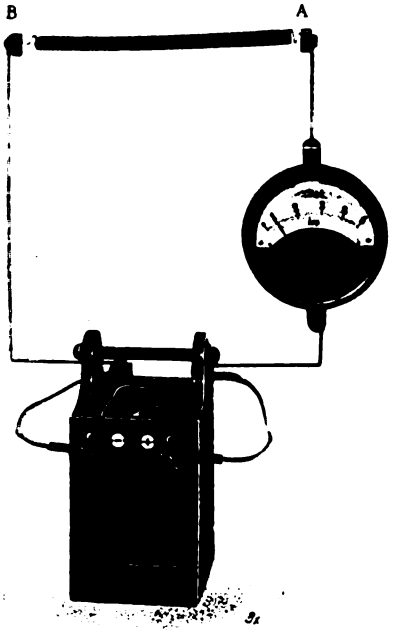


Fig. 24.

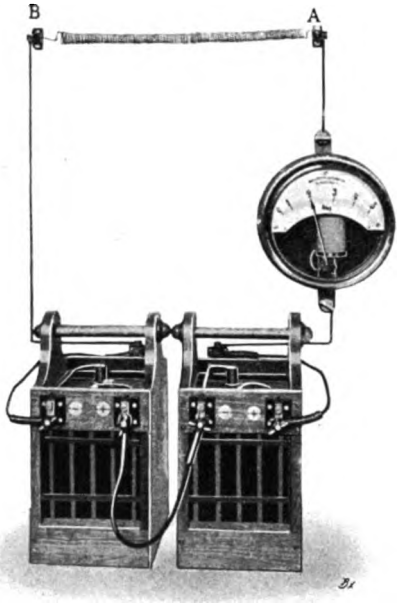


Fig. 25.

Wir erkennen das Naturgesetz, daß die Ströme proportional den angewandten Spannungen sind.

Nun will ich die Schließungsleitung verändern. Verkürze ich den Zickzackdraht auf die halbe Länge, so entsteht mit 1 Volt Spannung ein Strom von 2 Ampere, ein Drittel der Länge liefert 3 Ampere (Fig. 26). Wir schließen daraus,

Digitized by Google

daß bei gleicher Spannung die Ströme umgekehrt proportional der eingeschalteten Drahtlänge sind.

Endlich will ich den Querschnitt des Schließungsdrahtes verändern. Ich verdoppele den Querschnitt, indem ich *A* und

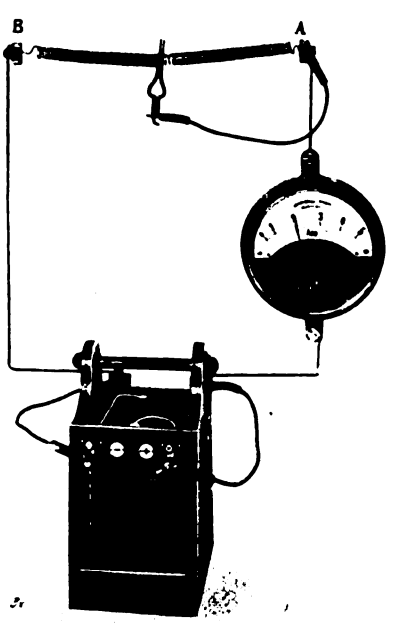


Fig. 26.

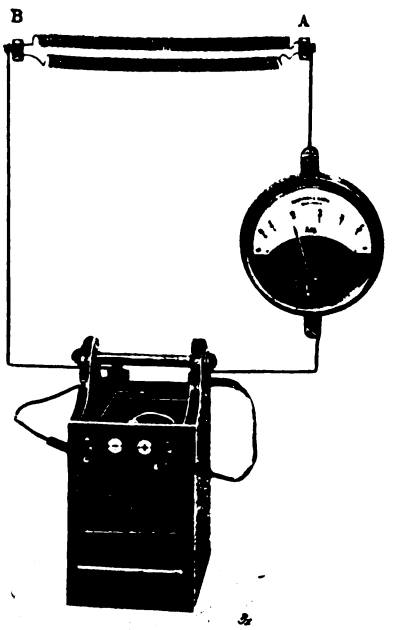


Fig. 27.

B noch durch einen zweiten Zickzackdraht von derselben Dicke verbinde (Fig. 27); das ist dasselbe, als ob ich einen Draht von doppeltem Querschnitt eingeschaltet hätte. Das Amperemeter zeigt jetzt auch die doppelte Stromstärke 2 Ampere; ein dreifacher Draht liefert 3 Ampere. Bei gleicher Spannung ist also die Stromstärke proportional dem Querschnitt der Leitung.

Digitized by Google

Diese drei Forschungsergebnisse bilden das Ohm'sche Gesetz, von dem ein Monteur seinen Kollegen gegenüber einst behauptete, es umfasse die ganze Wissenschaft der Elektrotechnik. Er hatte nicht so Unrecht, denn der wesentliche Inhalt des Gesetzes besagt, daß der durch eine elektrische Spannung hervorgerufene Strom abhängig ist von der Natur und Art der Leitung. Die Versuche haben uns den Einfluß von Länge und Querschnitt gezeigt, weitere Versuche würden ergeben, daß auch das Material des Drahtes eine Rolle spielt. Dies hat dazu geführt, jeder Leitung eine gewisse Eigenschaft zuzuschreiben, die man ihren elektrischen Widerstand nennt, und die sich beziffern läßt durch das Verhältnis von Spannung und Strom. Liefert eine Spannung von 1 Volt einen Strom von 1 Ampere wie in unserem ersten Versuch, so ist der Widerstand 1, und man nennt ihn dem Entdecker zu Ehren 1 Ohm. Es ist leicht, Drähte so zu bemessen, daß sie die Einheit oder das mehrfache derselben besitzen.

Nun ist es auch nicht mehr schwer, den Einfluß des Materials zu erkennen und zu berücksichtigen. So finden wir, daß ein Eisendraht von bestimmter Dicke, der den Widerstand 1 Ohm besitzt, nur ein Sechstel so lang ist wie ein gleich dicker Draht aus Kupfer. Der spezifische Widerstand des Eisens ist also sechsmal größer als der des Kupfers. Diese traurige Tatsache verteuert unsere Leitungen und liefert uns in die Hände des amerikanischen Kupferringes, weil unsere heimische Kupferproduktion nur gering ist. Ein Versuch wird dies bestätigen.

Ich habe hier eine Kette aufhängen lassen, welche aus einer Reihe von Gliedern zusammengesetzt ist, die alle aus Drahtstücken von gleicher Länge und gleichem Querschnitt bestehen (Fig. 28). Die Stücke sind aber abwechselnd aus Eisen und Kupfer hergestellt. Wenn wir nun durch die ge-

Digitized by Google

samte Kette einen Strom führen, so wird dieser in den Eisendrähten einen sechsmal größeren Widerstand finden. Je größer aber der Widerstand, desto größer ist auch die Erwärmung an dieser Stelle. Wir werden die Eisenglieder infolgedessen bereits erglühen sehen, während die Kupferglieder noch dunkel sind.

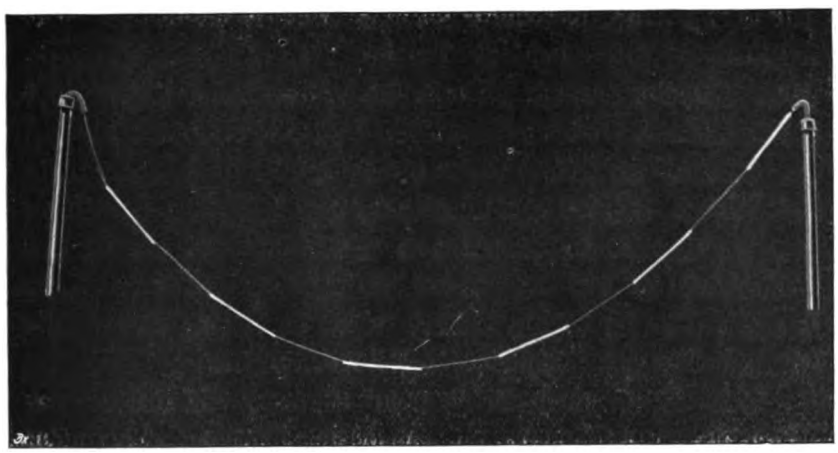


Fig. 28.

Wenn es sich darum handelt, das Ohm als jederzeit reproduzierbares Etalon darzustellen, dann muß man sich über das zu wählende Material einigen. Früher zog man zur Herstellung der Einheit das Kupfer heran. Da stellte es sich heraus, daß die verschiedenen Kupfersorten mit ihren unvermeidlichen Verunreinigungen doch zu verschiedene Werte ergaben; dasselbe war beim Eisen der Fall. Da kam Werner v. Siemens in der Mitte der 60iger Jahre auf den glücklichen Gedanken, ein Material zu wählen, welches man jederzeit mit leichter Mühe in chemischer Reinheit herstellen kann.

Digitized by Google

Das ist das Quecksilber, durch Destillation können wir es von allen Verunreinigungen befreien. Da das Quecksilber flüssig ist, muß man es in eine Röhre von nicht leitendem Material einschließen. Das sind Arbeiten, die einer außerordentlichen Präzision bedürfen und von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt ausgeführt werden. Dort hat man gefunden, daß 1 Ohm durch einen Quecksilberfaden von 1 mm Querschnitt und 106,3 cm Länge repräsentiert wird.

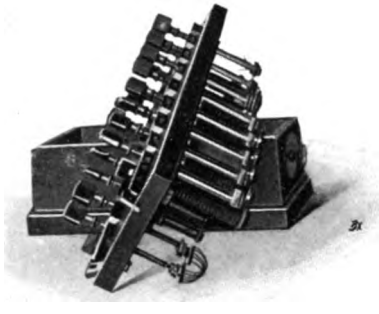


Fig. 29.

Zur Reproduktion für technische Zwecke wählt man Kupfer- oder Neusilberdraht, den man auf Rollen wickelt, welche die Einheit oder das Vielfache davon darstellen. Sie werden in sogenannten Widerstandssätzen vereinigt. Hier ist ein solcher Kasten (Fig. 29). Auf dem Deckel sehen wir breite Messingschienen, die an verschiedenen Stellen durch eine konische Bohrung unterbrochen sind, in welche man gut schließende Metallstöpsel einstecken kann. Unter jeder Bohrung befindet sich Draht auf Holzrollen gewickelt, dessen Länge einem bestimmten Widerstand entspricht. Die Enden des Drahtes sind mit den aufeinanderfolgenden Messingschienen verbunden. So lange ein Stöpsel in der Bohrung sitzt, geht ein in das dicke Messingband eintretender Strom durch den geringen Widerstand des Stöpsels und vermeidet den größeren Widerstand durch die Rolle. Entfernt man aber den Stöpsel, so hat der Strom nur einen Weg, nämlich den durch den

Digitized by Google

Rollenwiderstand. Die Sätze sind nach dem Dekadenprinzip eingerichtet, so daß man schnell jeden beliebigen Widerstand herstellen kann.

Für technische Betriebe hat man die Widerstände auch so eingerichtet, daß sie durch eine Kurbel reguliert werden können (Fig. 30). Der Widerstandsdraht ist in Form von Spiralen mehrfach auf- und niedergeführt; auf einer Platte sind eine Reihe von Kontakten im Kreise angeordnet, die mit den Enden der einzelnen Spiralen in Verbindung stehen. Sie werden von einer Kurbel bestrichen, so daß ein Strom, der in die Kurbel eintritt, erst an dem berührten Kontakt in den Widerstand eintritt und am letzten Kontaktpunkt denselben verläßt.

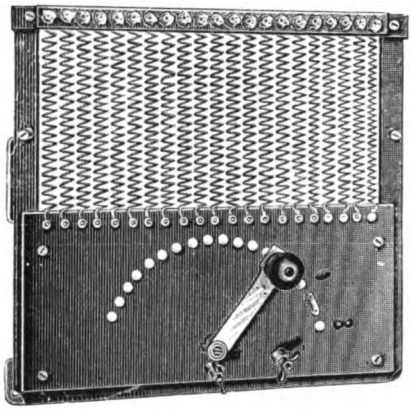


Fig. 30.

Wir haben bis jetzt eine dreifache Abhängigkeit des Widerstandes kennen gelernt: von der Länge, vom Querschnitt und vom Material. Dazu tritt nun eine vierte Abhängigkeit — von der Temperatur. Ein Versuch soll es zeigen. Ich halte hier einen Neusilberdraht in Form einer Spirale. Schicke ich Strom hindurch, so erwärmt er sich. (Fig. 31.) Zugleich zeigt das eingeschaltete Amperemeter ein langsames Zurückgehen, ein Zeichen, daß der Widerstand zunimmt, denn die angewandte Spannung hat sich nicht verändert. Jetzt tauche ich die Spirale in Wasser und kühle sie. Sie bemerken, daß das Meßinstrument einen steigenden

Digitized by Google

Strom anzeigt, daß der Widerstand sich also durch die Kühlung vermindert.

Hiermit ist bewiesen, daß der Widerstand des Neusilbers wie aller Metalle sich mit steigender Erwärmung vergrößert. Andere Stoffe, z. B. die Kohle und alle Flüssigkeiten ver-

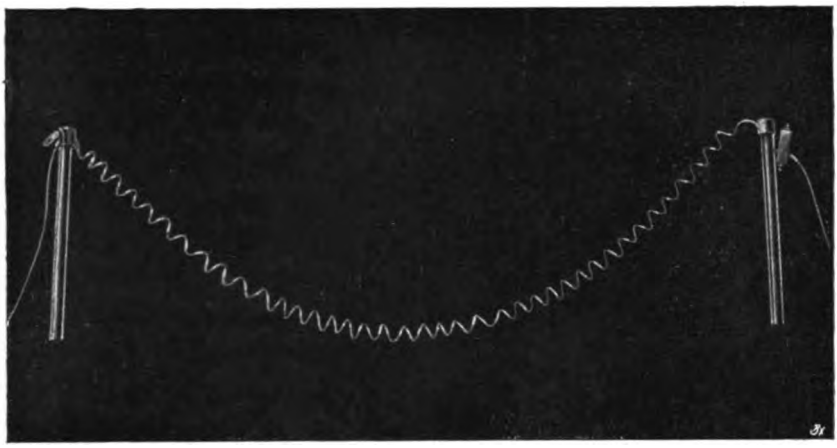


Fig. 31.

halten sich umgekehrt, sie verringern den Widerstand mit der Erwärmung.

Auch die Gase zeigen einen mit der Temperatur abnehmenden Widerstand. Man hat früher die Gase für Nichtleiter der Elektrizität gehalten. Diesen Standpunkt müssen wir aufgeben, nachdem wir gesehen haben, daß der Spannungsausgleich durch Funken, die auch nur den Übertritt eines Stromes bedeuten, selbst in der Luft möglich gewesen.

Ein merkwürdiges Experiment, das man erst seit einigen Jahren kennt, wird uns zeigen, daß hoch erhitzter Wasserstoff die stärksten Ströme hindurchläßt. Zur Erklärung des

Digitized by Google

Experiments diene zunächst ein Versuch in kleinerem Maßstabe. In dem vor Ihnen stehenden Gefäß (Fig. 32) soll eine elektrolytische Wasserzersetzung vorgenommen werden, aber mit anderen Elektroden als vorhin. Als Anode habe ich eine verhältnismäßig große Platte aus Platin gewählt, als Kathode dagegen einen feinen Platindraht, so daß eine große Verschiedenheit in den Oberflächen der Elektroden besteht.

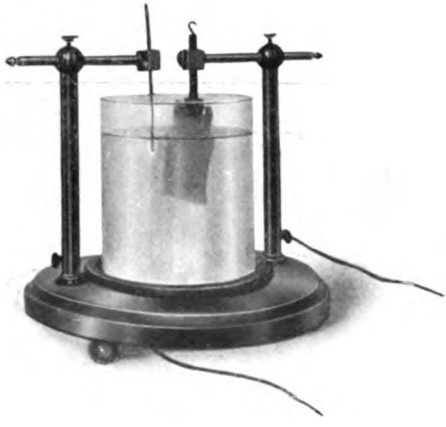


Fig. 32.

Lassen wir zunächst einen geringen Strom eintreten, so nehmen wir noch nichts Ungewöhnliches wahr: an dem Draht treten die Wasserstoffbläschen auf, die in lebhaftem Wirbel entweichen. Verstärke ich jetzt den Strom, so wird die Entwickelung so stürmisch, daß die Gasblasen nicht mehr schnell genug entweichen können, sie umhüllen den Draht mit einer gasigen Schicht. Das hat eine interessante Folge. Solange der Platindraht noch mit dem Wasser in Berührung stand, hatte der Strom nur geringen Widerstand zu überwinden, jetzt tritt ihm das Hindernis der Gasschicht entgegen. Er zwängt sich auch durch diese hindurch, aber die gewaltige Arbeit produziert eine intensive Wärme, die Temperatur steigt schnell so hoch, daß die ganze Wasserstoffatmosphäre zu einem glühenden Ofen wird, in dem sogar das schwer zu schmelzende Platin wie Butter zerfließt und damit den Prozeß unterbricht. Beachtenswert ist die plötzliche Widerstandszunahme sobald

Digitized by Google

die Gasschicht entsteht, denn Sie nehmen an dem eingeschalteten Amperemeter ein starkes Abfallen des Stromes wahr.

Zwei belgische Ingenieure, Lagrange und Hoho, haben eine technische Anwendung davon gemacht, sie gründeten

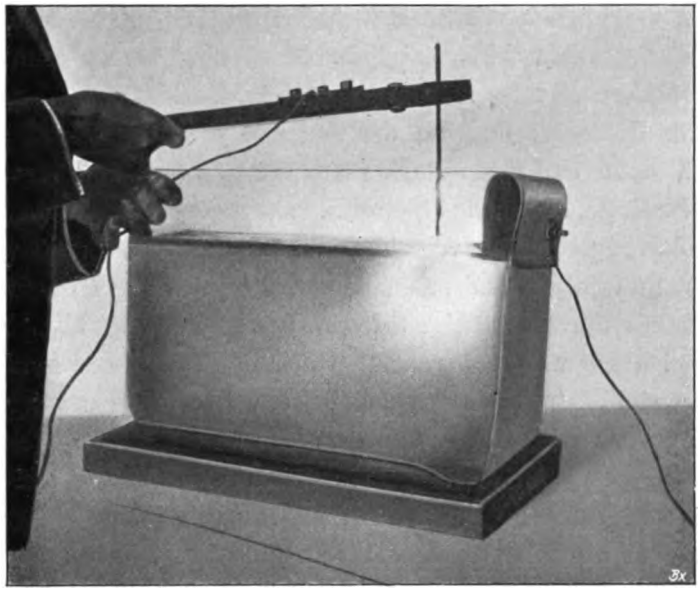


Fig. 33.

darauf einen Schweißprozeß unter Wasser. In der großen gläsernen Wanne, die vor Ihnen steht, erblicken Sie einen solchen hydroelektrischen Schweißofen (Fig. 33). Sie ist mit Wasser gefüllt, welches durch etwas Pottasche leitend gemacht ist. Als Anode dient eine große Bleiplatte, die über den Rand des Gefäßes gehängt und mit dem Kupferpol einer mächtigen Batterie verbunden ist. Der Zinkpol ist mit einer

Digitized by Google

Zange verbunden, die ich in der Hand halte. Wenn ich nun mit dieser einen dicken Eisenstab erfasse, so wird derselbe in dem Moment, wo ich ihn eintauche, zur Kathode und von einem glühenden Wasserstoffmantel umhüllt. In wenigen Sekunden ist das Eisen in Schweißglut versetzt, ich muß es schnell herausziehen, denn Sie hören bereits das zischende Abtropfen. Um die Wanne nicht zu sprengen, habe ich den Boden vorsorglich mit Sand bedeckt.

Es ist nicht bloß möglich, Eisen so hoch zu erhitzen, auch andere Metalle zeigen das gleiche Verhalten. Wertvoll ist der Umstand, daß an der Kathode der Wasserstoff sich bildet, denn es ist ein stark reduzierendes Gas und verzehrt alle Unreinlichkeiten des Metalles. Es ergibt sich ein überaus einfaches Mittel, stark verschmutzte, mit Rost bedeckte Gegenstände zu reinigen. Diese unansehnliche verrostete Eisenplatte tauche ich nur für wenige Sekunden in die Wanne, blitzblank ziehe ich sie wieder heraus. Glühend gemachte Eisenteile lassen sich schweißen. Hier ist ein Ring aus zwei verschiedenen Stahlsorten unter dem Hammer zusammengefügt, hier eine geschweißte Gabel, ein Schraubenbolzen, eine Nietverbindung, alles Produkte der Schweißwanne. Ein Übelstand ist es, daß die Wärme bei der schnellen Erhitzung nicht tief in das Innere dringt, andererseits ein Vorteil, denn wir können eine Oberflächenhärtung ausführen, indem wir das erhitzte Eisenstück in Kühlwasser tauchen. Auch gelingt es, einzelne Stellen zu härten, andere weich zu lassen, man hat nur die letzteren mit Lehm zu umkleiden, an den freibleibenden findet dann allein die Härtung statt. Auch Kanonenrohre und Flintenläufe könnte man dadurch mit Oberflächenhärtung versehen, wenn es gelänge, das Krummziehen zu vermeiden.

Der kurze Überblick hat uns das mannichfache Wirken des elektrischen Stromes gezeigt: von dem leisen Hauch, der

Digitized by Google

die winzige Magnetnadel richtet, bis zum Lasten tragenden Krahn, von der Zertrümmerung des fest gefügten Baues chemischer Moleküle bis zu den Gluten des feurigen Ofens, in denen das Eisen zerschmilzt — Alles sind Wirkungen derselben Kraft, welche der Menschengeist in geregelte Bahnen zu lenken und zu nützlicher Arbeit zu leiten verstanden hat. Mit dichterischer Gestaltungskraft haben wir die Fluten eines geheimnisvollen Stromes belebt und einen natürlichen Zusammenhang zu begreifen vermeint. Doch wollen wir uns nicht täuschen; es sind eigentlich nur Wahnvorstellungen, welche die allzubereite Phantasie uns vorgegaukelt, und in bezug auf das wirkliche Verständnis sind wir schließlich kaum besser daran als jenes Bäuerlein, dem ein Aufklärungsapostel den elektrischen Telegraphen erläutert und selbstbewußt am Ende fragt: „Das habt Ihr doch wohl verstanden?“ Das Bäuerlein aber nickt treuherzig und sagt: „Ja alles, nur eines nicht — wie kommen die Depeschen über die Porzellanknöpfe weg?“

Digitized by Google

3.

Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister.

Zu den interessantesten dichterischen Vorahnungen großer Naturgesetze, welchen wir in den Meisterwerken der Weltliteratur aller Zeiten begegnen, gehört jene merkwürdige Stelle in Goethes Faust, wo der Dichter den grübelnden Verstand sich abmühen läßt an der Übersetzung des gedankenreichsten Evangeliums, des Evangeliums Johannis. Von der beschränkten Fassung: „im Anfang war das Wort", erhebt sich die Erkenntnis zu der höheren Deutung: „im Anfang war die Kraft", um endlich volle Befriedigung zu finden in dem befreienden Gedanken: „im Anfang war die Tat."

Sagen wir dafür, um in der Sprache der Mechanik zu reden, „im Anfang war die wirkende Kraft", dann haben wir den Inhalt jenes großen Naturgesetzes vor uns, dessen Erkenntnis den Stolz des vorigen Jahrhunderts ausmacht, des Gesetzes von der Wandlung oder, wie man auch zu sagen pflegt, von der Erhaltung der Energie.

In den Naturerscheinungen, die uns umgeben, sehen wir heute nicht mehr wie früher bloß den trostlosen Gegensatz zwischen Blühen und Welken, den in sich abgeschlossenen Wechsel zwischen Werden und Vergehen, sondern wir erkennen in den wirkenden Naturkräften heute einen lebens-

Digitized by Google

vollen, unermüdlichen Wandel, einen ununterbrochenen Übergang in neue, ebenso wertvolle und wichtige Erscheinungsformen. Die wärmespendende Kraft der Sonne läßt nicht nur Fluren ergrünen und Wälder erstehen, die uns nähren und schirmen, sondern sie trägt auch unabläßig die Wassermengen aus Flüssen und Meeren auf den felsigen Hang der Gebirge und läßt sie niederrinnen als belebende und kraftspendende Flut.

Nicht tote Kraft ist es, die den Wechsel schafft: erst die Fähigkeit, zu wirken, verleiht ihr den Wert. Ein gehobenes Gewicht, dem die Möglichkeit genommen ist, sich von seiner Stelle zu bewegen, kann noch keinen Nutzen bringen, erst wenn die Menschenhand ihm eine Bahn bereitet, kann das Gewicht nützliche Arbeit verrichten. Die Schwere der Körper hat zuerst die Anregung gegeben, die Arbeitsfähigkeit oder Energie, wie man sie auch mit einem Fremdwort bezeichnet, zu einem bestimmten Begriff zu verdichten. Man führte als Einheit der Energie diejenige Arbeit ein, welche die Gewichtseinheit 1 kg leistet, wenn sie durch eine Niveaudifferenz von 1 m fällt. Diese Einheit nennt man das Meterkilogramm. Sie gewinnt desto grösseren Wert, je häufiger sie in einer bestimmten Zeit in Erscheinung tritt. Ein neuer Begriff bildet sich deshalb, wenn wir die Zeit beachten. Fällt 1 kg durch 1 m in 1 Sekunde, so ist dies ein bestimmtes Maß für diesen Begriff, das man als Einheit des Effektes bezeichnet und 1 Sekundenmeterkilogramm nennt. Die Technik rechnet bekanntlich mit einer größeren Einheit: 75 Sekundenmeterkilogramm nennt sie eine Pferdestärke.

Aber nicht nur in der abgeschlossenen Wirkung einer Kraft erkennen wir Energie, auch in der Bewegung erscheint sie. Nehmen wir eine Dampfmaschine. Die Expansivkraft des Dampfes treibt den Kolben der Maschine bei jedem Hub

Digitized by Google

auf genau bemessenem Wege, und wir können die Arbeitsleistung, welche einem Hube entspricht, beziffern, wenn wir den Dampfdruck mit dem Wege des Kolbens multiplizieren. Wir haben also ein bestimmtes Maß für diese Arbeit in Meterkilogrammen. In anderer Form sehen wir dieselbe Energie an dem rotierenden Schwungrade. Dort erscheint sie in der Form der Bewegung und nach einer veralteten Bezeichnung nennt man sie „lebendige Kraft". Wir wissen, daß wir sie messen können aus der Masse des Rades und der Geschwindigkeit desselben. Wir können sie aber auch jederzeit ausdrücken in Meterkilogrammen bezw. den Effekt, die Arbeit für die Zeiteinheit, in Sekundenmeterkilogrammen.

Der bedeutsamste Schritt zur Entdeckung des Energiegesetzes geschah, als Robert Mayer in den vierziger Jahren zeigte, daß auch die Wärme weiter nichts ist, als eine neue Form von Energie. Wir können heute nicht mehr bezweifeln, daß die kleinsten Teilchen eines Körpers sich in einer unaufhörlichen schwingenden, zitternden oder oscillierenden Bewegung befinden. Die Stärke dieser Bewegung ist ein Maß für den Grad der Wärmeerscheinung, die wir wahrnehmen.

Robert Mayer war der Erste, welcher nachwies, daß wir die Wärme selbst infolgedessen in mechanischem Maße ausdrücken können, in Meterkilogrammen, indem wir den Wert der lebendigen Kraft der kleinsten Teilchen bilden. Im gewöhnlichen Leben und vor dieser Erkenntnis war ein anderes Maß für die Wärme üblich. Man nahm eine beliebige Wirkung derselben, und zwar als nächstliegende diejenige, welche sie ausübt bei der Erwärmung einer Flüssigkeit, insbesondere des Wassers. Man nannte diejenige Wärme 1 (eine Kalorie), welche 1 kg Wasser um 1° C erwärmt. Mayer hat nun gezeigt, wie wir dieses Maß, das offenbar ganz willkürlich war, ersetzen können durch das viel sicherere und viel

Digitized by Google

tiefer in die Erscheinung eindringende Maß in Meterkilogrammen; er war der Erste, der den Zusammenhang beider Maße feststellte; er zeigte — und nach ihm ist es von vielen Forschern sichergestellt worden — daß rund 425 mkg identisch sind mit einer Kalorie. Wir können also jetzt eine Wärmemenge in zwei verschiedenen Maßsystemen angeben, entweder in Kalorien, das ist die alte Methode, oder nach der neueren Auffassung in Meterkilogrammen, in Arbeitseinheiten, d. i. also genau so, als ob wir eine Länge in verschiedenen Einheiten messen, etwa in Fuß und Meter.

Die Wärme wurde nun die Brücke zu der wichtigen Erkenntnis, daß auch die elektrischen Erscheinungen nichts anderes sind als neue Wandlungen der Energieform. Wir können ihre Stärke zurückführen entweder auf ein kalorisches Maß — Kalorien — oder auf das mechanische Maß — Meterkilogramm — und wenn wir die elektrische Erscheinung für die Zeiteinheit betrachten, können wir sie ausdrücken in mechanischen Effekteinheiten.

Am schnellsten wird uns das klar werden, wenn wir zunächst den Übergang in das kalorische Maß einer näheren Betrachtung unterziehen. Ein metallischer Draht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, erwärmt sich. Wir sehen also Wärmeenergie auftreten. Man kann sogar die Frage erörtern, ob es nicht möglich wäre, die Stärke der elektrischen Erscheinung durch diese Wärme zu messen. Dies gelingt vollkommen. Nehmen wir eine ganze elektrische Quelle, wie sie hier vor uns steht, in der Form, welche man einen Akkumulator nennt. Ein solches Element besteht aus zwei verschiedenen Platten, welche in angesäuertes Wasser getaucht sind; man hat nur die Kupfer- und Zinkplatten des alten Voltaelementes ersetzt durch zwei Bleiplatten, von denen die eine metallische Oberfläche besitzt, die andere dagegen

Digitized by Google

bedeckt ist mit einer Schicht einer Bleiverbindung, dem Bleisuperoxyd. Diese Platten werden auf elektrischem, nicht auf chemischem Wege präpariert. In dieser Gestalt, in der man den Akkumulator als geladen bezeichnet, ist er für uns nichts anderes als ein Voltaelement. Aber dieses Element hat eine größere Spannung an den Polen als das alte Voltaelement. Jenes besitzt nur 1 Volt, dieses dagegen rund 2 Volt Spannung. Wenn wir nun ein solches Element schließen, so wird eine Wärmeproduktion entstehen, und wir werden wahrnehmen, daß nach einer gewissen Zeit das Element sich erschöpft. Wenn wir es näher untersuchen, finden wir, daß die Bleisuperoxydschicht auf der einen Platte völlig verschwunden ist, und daß auch die andere Platte sich verändert hat. Dann ist das Element inaktiv geworden, es ist erschöpft.

Wir können uns nun die Aufgabe stellen, den gesamten Energie- oder Arbeitswert, den ein solches Element repräsentiert, zu messen. Wollte ich bloß den Leitungsdraht in ein Wasserkalorimeter tauchen und aus der Temperaturerhöhung und der Menge des erwärmten Wassers einen Rückschluß machen auf die Größe der hier entwickelten Wärme, dann würde ich einen Fehler begehen; es werden auch in den Zuleitungsdrähten Wärmeerscheinungen auftreten, diese müßten wir berücksichtigen, auch wenn wir sie vielleicht auf ein sehr geringes Maß reduzieren könnten, indem wir sehr dicke Zuleitungsdrähte wählten. Immerhin würde aber auch in diesen Wärme auftreten. Ebenso wird auch Wärme auftreten in der Batterie selber. Wir nehmen es daran wahr, daß sich die Flüßigkeit erwärmt. Nun, man könnte vielleicht den Grad der Erwärmung bestimmen und denselben bei dem Gesamtresultat berücksichtigen. Diese Messung wäre aber mit verschiedenen Fehlerquellen behaftet. Am einfachsten und sichersten würden wir zum Ziele gelangen, wenn wir

Digitized by Google

die ganze Batterie mit dem Schließungskreis in ein Kalorimeter tauchen könnten, gefüllt mit einer Flüssigkeit, welche die Elektrizität nicht leitet, z. B. Öl. In einem solchen Ölkalorimeter könnten wir den ganzen Vorgang vor unseren Augen sich abspielen lassen und würden bis zur Erschöpfung des Elements die Gesamtwärme, welche dabei auftritt, messen können.

Wärme ist Energie; daraus folgt, daß also der gesamte elektrische Vorgang hier einen bestimmten Energiebetrag repräsentiert. Man hat solche Messungen ausgeführt. Es würde zu lange dauern, wollte ich den Versuch hier wiederholen. Ein Akkumulator von dieser Grösse liefert bis zur vollen Erschöpfung 75 Kalorien Wärme; wir können also damit 75 l Wasser um 1° erwärmen oder 1 l Wasser um 75°. Wenn wir diese Wärme umsetzen wollten in mechanische Arbeit, wenn wir sie benutzen wollten, um Wasser in Dampf zu verwandeln und damit eine Dampfmaschine zu treiben, so könnten wir die 75 Kalorien umrechnen in das mechanische Maß der Arbeit, das wären 75.425 = 32 000 mkg. Der Arbeitsvorrat, die Arbeitsfähigkeit, die dieses Element repräsentiert, würde also — abgesehen von Verlusten, die natürlich nicht zu vermeiden sind — genügen, um 32 Tonnen 1 m zu heben oder etwa 6 kg auf die Höhe des Montblanc zu tragen. So können wir also den Wert der elektrischen Prozesse in den uns üblichen und vertrauten Einheiten bestimmen.

Wir verdanken diese Erkenntnis nicht der Berufsgelehrsamkeit, sondern ein Mann aus dem praktischen Leben war es, seines Zeichens ein Brauereibesitzer in England, James Prescott Joule, der diesen Zusammenhang zuerst vollkommen klargelegt hat. Er hatte, wie es so oft in England der Fall, neben seiner Berufstätigkeit Zeit und Lust zu rein wissenschaftlichen Forschungen, und in sehr sorgfältigen

Digitized by Google

Laboratoriumsarbeiten hat Joule den Zusammenhang ermittelt, welcher zwischen der produzierten Wärme und den Elementen des elektrischen Kreislaufs besteht, zwischen der Wärme, der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand. Er hat Drähte von genau abgemessenen Längen und Querschnitten in Wasserkalorimeter gebracht und die entstehende Wärme ermittelt, indem er gleichzeitig genaue Messungen der Stromstärke und der Spannung vornahm. Seine Untersuchungen haben zu einem wichtigen und weittragenden Gesetze geführt, das man ihm zu Ehren das Joule'sche Gesetz benannt hat.

Nach diesem Gesetze ist die Wärmeproduktion abhängig von dem Widerstand, in welchem der Strom arbeitet, und von der Stromstärke. Ich könnte diesen Versuch mit einem Wasserkalorimeter hier ausführen, doch ich habe kein Thermometer, welches die geringen Differenzen im Stande der Quecksilbersäule so weithin sichtbar zeigt, daß Sie es von Ihren Plätzen aus sehen könnten. Das Gesetz ist aber so wichtig und grundlegend, daß ich nicht genug Sorgfalt darauf verwenden kann, einen vollständigen Einblick in dasselbe zu verschaffen. Ich werde daher, um den Beweis experimentell zu führen, eine andere Art der kalorimetrischen Messung wählen, und statt eines Wasserkalorimeters ein Luftkalorimeter benutzen.

Ich habe hier vier Flaschen aufgestellt und bitte Sie, zunächst diese ersten beiden Flaschen zu betrachten. (Fig. 34.) Sie haben einen ansehnlichen Rauminhalt und sind gegen die äußere Atmosphäre vollständig luftdicht abgeschlossen. In diesen mit Luft gefüllten Flaschen befinden sich dicke Drähte aus Neusilber. Die Drähte sind so bemessen, daß bei ganz gleichem Querschnitt in der ersten Flasche die Länge doppelt so groß ist als in der zweiten. Da die Materialien gleich

Digitized by Google

sind, wird infolgedessen der elektrische Widerstand in der ersten Flasche doppelt so groß sein müssen wie der Widerstand in der zweiten Flasche. Wenn ich nun diese beiden Drähte, die mit dicken Anschlußdrähten aus Kupfer oben und unten herausgeführt sind, in einen Stromkreis schließe, so daß der elektrische Strom die beiden Widerstände in den beiden Flaschen hintereinander durchläuft, so ist klar, daß in beiden Flaschen dieselbe Stromstärke tätig sein muß. In einem geschlossenen Leiterkreise kann immer nur eine Stromstärke sein, wir haben keine Verzweigung. Die Wärme, die durch die Wirkung des Stromes in den Neusilberdrähten entsteht, wird den Inhalt der Flaschen erwärmen, und wir wissen aus der Physik, daß bei konstantem Druck — und der Druck ist konstant, denn die Gefäße sind geschlossen durch eine kleine Wassersäule, deren Höhendifferenz wir

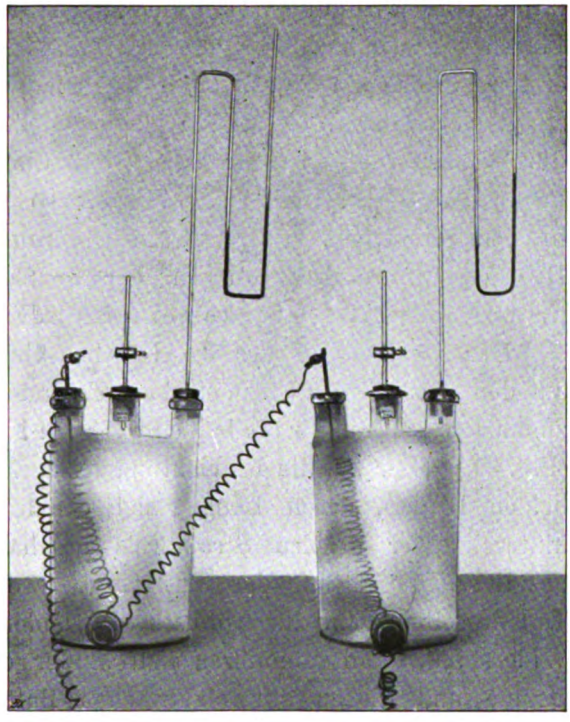


Fig. 34.

Digitized by Google

vollständig außer Acht lassen können — die Ausdehnung der Luft proportional der Erwärmung sein muß. Nun werden wir den Grad der Ausdehnung bezw. die Schnelligkeit derselben dadurch sichtbar machen, daß in diesen auf- und niedergeführten, doppelt gekrümmten Röhren ein kleine gefärbte Wassersäule sich verschiebt. Ich bitte Sie, die beiden Flaschen zu beobachten, Sie werden wahrnehmen, daß in der ersten Flasche die Flüssigkeitssäule genau doppelt so schnell steigt als in der zweiten. Da beide von dem gleichen Strom durchflossen sind, so folgt daraus, daß die Wärmeproduktion in dem größeren Widerstand doppelt so groß sein muß als in dem einfachen. Wir erkennen daraus das Naturgesetz: Die Wärmeproduktion in einem Draht ist direkt proportional der Grösse seines Widerstandes.

Der zweite Teil des Joule'schen Gesetzes bezieht sich auf den Einfluß der Stromstärke. Um auch diesen Teil klar zu machen, wollen wir die beiden weiteren Flaschen betrachten. (Fig. 35.) Hier ist die Einrichtung insofern geändert, als die beiden Drähte, deren Längen sich wie 1 : 2 verhalten, nicht hintereinander in den Stromkreis geschaltet sind, sondern parallel. Der Strom der Batterie verzweigt sich also, ein Teil desselben geht durch diesen, der andere Teil durch jenen Widerstand, dann summieren sich wieder die beiden Zweigströme und fließen zur elektrischen Batterie zurück. Wir haben also eine Verzweigung, und die Widerstände in den beiden Zweigen verhalten sich genau wie 1 : 2. Bei einer solchen Verzweigung teilt sich die Stromstärke im umgekehrten Verhältnis der Widerstände, so daß in dem Zweigwiderstand, welcher doppelt so groß ist als der andere, nur die Hälfte des Stromes vorhanden ist wie in dem anderen Zweige. Wäre nun die Stromstärke auf die Wärmeproduktion ohne jeden Einfluss, dann müßte das erste Gesetz Anwendung

Digitized by Google

finden; es müßte, dem doppelten Widerstande entsprechend, in der links stehenden Flasche die Wärmeproduktion doppelt so groß sein als in der anderen. Wir werden sehen, das trifft nicht zu. Es muß also noch eine andere Abhängigkeit vorhanden sein. Es ist die Abhängigkeit von der Stromstärke.

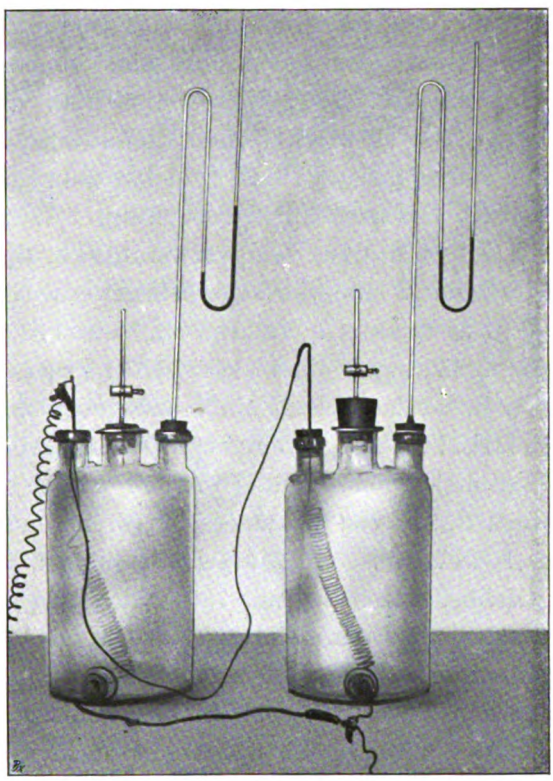


Fig. 35.

Nehmen wir zunächst an, die Wärmeproduktion sei, etwa ebenso wie beim Widerstande, einfach proportional der Stromstärke, — was müßten wir dann sehen? Dann würde in einer Flasche bei dem Widerstand 1 und der Stromstärke 2, in der anderen bei dem Widerstand 2 und der Stromstärke 1 die gleiche Wärme produziert werden. Es würde einerseits der geringere Widerstand in seiner Wirkung für die Wärmeproduktion ausgeglichen durch die größere Stromstärke und andererseits der größere Widerstand durch die geringere Stromstärke. Für diesen Fall

Digitized by Google

müßten dann also die beiden Wassersäulen gleich schnell steigen. Auch das werden wir nicht sehen. Der Versuch zeigt vielmehr, daß gerade in der Flasche, wo der Widerstand nur halb so groß ist, die Wassersäule doppelt so schnell steigt als in der anderen. Eine einfache Überlegung lehrt, daß dies nur möglich ist, wenn die Wärmeproduktion nicht einfach proportional der Stromstärke ist, sondern proportional dem Quadrate derselben, denn dann muß die doppelte Stromstärke hier einen vierfachen Einfluß ausüben.

Durch genaue Messungen hat man ganz einwandfrei festgestellt, das tatsächlich die erzeugte Wärme proportional ist dem Quadrat der Stromstärke, daß also eine doppelte Stromstärke eine vierfache Wärme erzeugt.

Das erläuterte Naturgesetz bietet uns nun die Möglichkeit, den Arbeitswert eines elektrischen Prozesses in kalorischem und in mechanischem Maße anzugeben und zugleich auch ein elektrisches Maß dafür zu gewinnen. Als Einheit des Effekts dient diejenige sekundliche Arbeit, welche mit 1 Volt Spannung einen Strom von 1 Ampere hervorruft, man nennt sie 1 Watt und weiß aus sorgfältigen Messungen, daß 1 Pferdestärke gleichbedeutend ist mit 736 Watt. Als größere Einheit verwendet man das Kilowatt, das rund $1^1/_3$ Pferdestärken repräsentiert. Die Größe und Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschinen beziffert sich zumeist in Kilowatt.

Wir wissen jetzt, daß unsere elektrischen Zentralen elektrische Energie erzeugen, in ausgedehnten Kabelnetzen verteilen und in die angeschlossenen Häuser leiten. Die Verwendung dieser Energie für Heizzwecke hat noch keine großen Fortschritte gemacht. Mit Unrecht. Wir wollen uns das an einem Beispiel klar machen.

Nehmen wir an, es soll ein Bad bereitet werden. Nach dem Tarif der Berliner Elektrizitätswerke kostet die erforder-

Digitized by Google

liche Energie 50 Pfennige. Billiger stellt es sich zwar mit Gasheizung, nämlich nur 6 Pfennige. Aber welch ein Unterschied in der Annehmlichkeit, Bedienung und Reinlichkeit! Für den, der sich überhaupt den Luxus leisten kann, elektrische Beleuchtung im Hause zu haben, spielt der Preisunterschied eine geringe Rolle.

Anders natürlich liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, für technische Prozesse Wärme zu produzieren; dann wird in den meisten Fällen die elektrische Produktion der Wärme zu kostspielig sein und die Rentabilität zweifelhaft machen. So hat man vorgeschlagen, die Eisenbahnzüge elektrisch zu heizen. Die einfachste Rechnung zeigt, daß dann die Lokomotive eine ganz ansehnliche Zentralstation werden müßte, um die erforderliche elektrische Energie produzieren zu können. Etwas anderes ist es, wenn man elektrische Bahnen hat, wo man Strom beliebig zuführen kann. Solche Versuche hat man gemacht. Da hat sich gezeigt, daß unter den jetzigen Verhältnissen ein gewöhnlicher elektrischer Bahnwagen, wenn die Temperatur im Innern 15° über der Außentemperatur sein soll, mit 20 Pfennigen pro Stunde zu heizen ist.

Diese Zahl zeigt, daß wir nicht vor absoluten Unmöglichkeiten stehen. Nun ist der Preis der elektrischen Energie in Berlin ein ziemlich hoher, 16 Pf. pro Kilowattstunde. In Oberschlesien sind ausgedehnte Zentralanlagen, welche vielfach für große Industrien die elektrische Kraft liefern und die Kilowattstunde für 10 Pf. verkaufen, bei größerer Menge — über eine Million — sogar nur für 8 Pf. Hier wird die elektrische Energie durch Dampf erzeugt. Viel günstiger stellen sich die Verhältnisse, wenn man Wasserkraft zur Verfügung hat. Sehr zahlreich sind solche Wasserkraftanlagen in der Schweiz, und ich kenne verschiedene Stellen,

Digitized by Google

wo die Pferdestärke pro Stunde mit 1 Pf. abgegeben wird. Allerdings ist dies nur unter ganz besonders günstigen Umständen erreichbar. Daß die Finanzmänner ununterbrochen ihr Augenmerk auf diese Frage richten, beweist die große Bewegung, welche augenblicklich in Norwegen, Schweden und Finnland stattfindet. Dort ist man dabei, sich die Wasserfälle zu sichern, welche besonders in Finnland sehr günstig an der Küste gelegen sind, um Tausende von Pferdestärken zu erzeugen und mit Hilfe von elektrischer Energie chemische Prozesse auszuführen.

Fig. 36.

Für technische Zwecke hat man die elektrische Wärme bis jetzt nur vereinzelt in Gebrauch genommen. Man hat Heizplatten ausgebildet, indem man die Wärme einer Eisenplatte dadurch zuführt, daß ein feiner Draht aus Neusilber auf der Platte in Zickzackform befestigt ist, und zwar befestigt auf einer Emailleschicht, welche auf die Eisenplatte gebreitet wird. Das Ganze ist bedeckt mit einer zweiten Emailleschicht, so daß man den eigentlichen Draht, mit welchem die Platte erwärmt wird, nicht sieht. (Fig. 36.) Diese Platten haben sich gut bewährt. Die Anschlußpunkte, an denen sich die Leitungen befestigen lassen, sehen Sie draußen. Die Schwierigkeit ist, daß man eine Emaille wählen muß, die genau denselben Ausdehnungskoeffizienten für die Wärme hat wie der Leitungsdraht. Für Kochgeschirre verwendet man in neuester Zeit eine sehr interessante Konstruktion.

Digitized by Google

Um nämlich einen Leiter von sehr hohem Widerstand zu erzeugen, der Oxydationseinflüssen nicht unterliegt und verhältnismäßig hohe Temperatur verträgt, ist man gezwungen, zu den edlen Metallen zu greifen, und da ist man auf den Gedanken gekommen (Fig. 37), die dünne Schicht einer eingebrannten Vergoldung zu benutzen. Solche Kochgeschirre sind unter der Marke „Prometheus“ im Handel.

Die Frage des elektrischen Kochens scheint überhaupt in greifbare Nähe gerückt zu sein. Für einzelne Zwecke z. B. würde

Fig. 37.

ich heute nichts anderes mehr empfehlen. Ich habe mir sagen lassen, daß an Bord S. M. S. „Hohenzollern“ die Kücheneinrichtung unter starker Hitze zu leiden hat. Es wäre so einfach gewesen, hier durch eine elektrische Kocheinrichtung Abhilfe zu schaffen. Die elektrische Kraft, mit großen Maschinen erzeugt, ist vorhanden, und das Kochen damit wäre vielleicht billiger als die Kohlenfeuerung.

Ehe wir von der Wärme Abschied nehmen, möchte ich kurz darauf hinweisen, daß man die Wärmewirkung benutzt hat, um die elektrischen Drähte vor einer unzulässigen Stromstärke zu sichern. Man fügt in die Leitungen Schmelzdrähte

Digitized by Google

ein, welche bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur abschmelzen. Am meisten Verwendung hat hierfür das Blei gefunden. Ich habe hier zwischen Kupferstücken einen kleinen Bleistab befestigt. (Fig. 38.) Wir wollen einen langsam sich steigernden Strom hindurchschicken, Sie werden sehen, daß das Blei zum Schmelzen kommt und damit die Batterie ausschaltet.

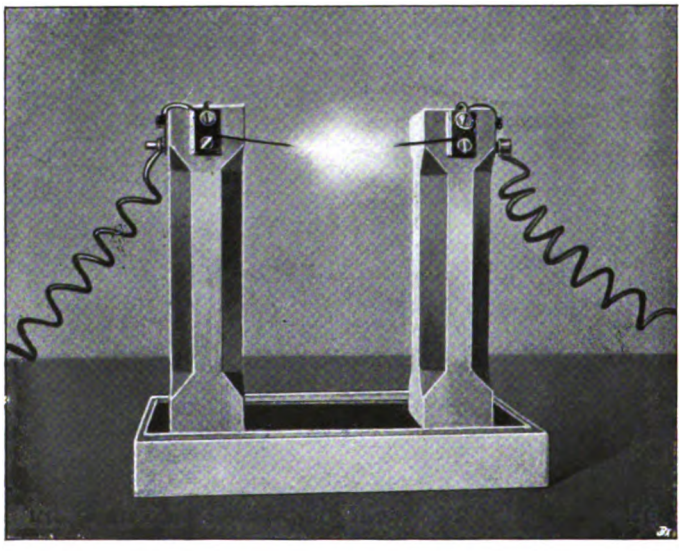


Fig. 38.

Man darf aber nicht glauben, daß dadurch eine elektrische Leitung gegen Brandschaden völlig gesichert ist. Die Brände, welche bei Beleuchtungsanlagen auftreten, sind manchmal auf ganz andere Ursachen zurückzuführen, zumeist allerdings auf liederliche Arbeit.

Es ist hier ein Punkt bemerkenswert, auf den ich hinweisen möchte. Wenn zwei Drähte miteinander verbunden

Digitized by Google

werden sollen, so geschieht es leider manchmal durch Umeinanderwürgen. Das bietet Gefahr. Die Metalloxyde, welche Kupfer, Eisen oder die sonstigen Leitungsmaterialien bedecken, besitzen einen wesentlich höheren spezifischen Widerstand als das Metall. Handelt es sich nun um eine solche Wür.estelle, so wird der Strom daselbst gezwungen, durch einen verhältnismäßig hohen Widerstand zu gehen, und da die Wärmeproduktion von dem Widerstande abhängt, so begreifen Sie, daß an dieser Stelle, wo also die Berührung der Drähte stattfindet, unter Umständen eine sehr starke Wärmeproduktion erfolgt, so stark, daß der Draht ins Glühen kommt und in der Nähe liegende Holzteile entzündet. Ich habe einen solchen Fall einmal untersuchen müssen. Vor einigen Jahren war in der Nähe des Lehrter Bahnhofes ein großer Raum zu einem Ballspielsaal für seine Majestät herzurichten. In der Zeit von zwei Tagen war der Raum mit Gasheizung und elektrischer Beleuchtung zu versehen. Alles war zur gegebenen Zeit fertig. Abends nach 8 Uhr wurde die elektrische Leitung abgeschaltet. Am nächsten Morgen wurden die Gasöfen geheizt. Als um 9 Uhr der Diener den Saal betrat, stand der Raum in hellen Flammen. Es lag nichts näher, als dieses Brandunglück den Gasöfen zuzuschreiben, denn Elektrizität war in dem Raum zur Zeit des Brandes nicht vorhanden Der Fall erforderte aber eine eingehende Untersuchung. Die Leitung wurde bloßgelegt, und was fand sich? An einer Stelle hatten die Arbeiter bei der Eile, in der gearbeitet werden mußte, zwei Drähte nicht durch Lötung, wie vorgeschrieben, verbunden, sondern umeinandergewürgt; dort war ein großer Widerstand entstanden unmittelbar an einer Holzleiste, darüber befanden sich Drapierungsstoffe. Nun war der Spannungsabfall nicht so groß gewesen, daß die Lampen etwa wesentlich dunkler brannten, und man es daran hätte

Digitized by Google

merken können. Das Holz war ins Schwelen gekommen, nachher war der Strom abgestellt, aber das Holz glimmte weiter, und als am Morgen beim Anzünden der Gasöfen ein lebhafter Luftzug entstand, wurde der Brand entfacht. Hätte man sich damals ohne nähere Untersuchung zufrieden gegeben, so wäre der Brand dauernd auf dem Konto der Gasheizung verblieben. —

Wir kommen nun zu der leuchtenden Schwester der Wärme. Ihre nahe Verwandtschaft zeigt uns folgendes Experiment. Ein langer Eisendraht ist quer durch den Saal gespannt; ich verbinde ihn mit einer starken elektrischen Quelle, einer Akkumulatorenbatterie, deren Strom ich durch einen Kurbelwiderstand reguliere. Das eingeschaltete Meßinstrument zeigt jetzt den Durchgang des Stromes: an dem Draht ist noch nichts zu bemerken, nur die aufsteigende Luftbewegung, an den Staubteilchen erkennbar, läßt auf seine Erwärmung schließen. Jetzt werden wir den Saal verdunkeln und allmählich den Strom verstärken, indem wir den abdrosselnden Kurbelwiderstand vermindern. Ein schwacher roter Schimmer geht jetzt von dem Drahte aus, der sich langsam verstärkt, sich zur Rotglut entwickelt und schließlich den ganzen Draht in sprühende Weißglut versetzt. Wie ein leuchtendes Band durchzieht er den Saal und taucht ihn in Helligkeit. Dies zeigt uns, daß wir in der Lichtstrahlung nur eine verstärkte Wärmestrahlung zu erkennen haben oder mit anderen Worten gleichfalls einen Energiewert, den wir in den gleichen Massen dereinst werden messen lernen wie die Wärmewirkung. Leider sind wir zur Zeit noch nicht so weit, denn das Lichtäquivalent ist nicht so leicht zu bestimmen wie das Wärmeäquivalent.

Die Technik hat den naheliegenden Weg beschritten und zunächst eine willkürliche Einheit festgesetzt. Als Maß der

Digitized by Google

Lichtstärke dient ein Einheitslicht. Man hat dazu früher eine Kerze benutzt, die besonders sorgfältig hergestellt wurde, in England aus reinem Walrat, in Deutschland aus feinstem Paraffin oder Stearin. Es war nicht möglich, auch nur in Deutschland Einigkeit zu erzielen. Die Norddeutschen hatten eine andere Normalkerze als die Bayern und erst vor wenigen Jahren ist es gelungen, dies Reservatrecht zu beseitigen. Das heut geltende Normallicht in Deutschland ist keine Kerze, sondern eine kleine Lampe, die den Vorteil bietet, daß sie jederzeit reproduziert werden kann. Sie wird gefüllt mit einem brennbaren Stoff (Fig. 39), der in jeder Drogenhandlung zu haben ist: Amylacetat, essigsaures Amyl, das einen wunderschönen Geruch nach Äpfelsäure verbreitet. Der Docht von 10 mm Durchmesser wird so eingestellt, daß die Lampe mit 40 mm Flammenhöhe brennt, dann gibt sie ein schönes, etwas rötlich gefärbtes Licht. Die Lampe ist angegeben von v. Hefner-Alteneck. Man nennt sie deshalb Hefnerlicht oder Normalkerze. Leider hat diese Einheit noch keine internationale Gültigkeit. Als in Chicago diese Frage erörtert wurde und alle Staaten sich bereit erklärten, die Kerze anzunehmen, widerstrebte allein der Vertreter Englands unter dem Vorwande, er müsse sich erst Instruktion von seiner Regierung holen. Am nächsten Tage kam ein Telegramm: die englische Regierung hätte sich bereits schlüssig gemacht

Fig. 39.

Digitized by Google

und die Pentanlampe gewählt; sie unterscheidet sich von der Amyllampe eigentlich nur dadurch, daß ein anderer Stoff, das Pentan, zum Brennen benutzt wird.

Das gefärbte Licht macht einen ganz verschiedenartigen Eindruck auf das menschliche Auge. Wir können nur annehmen, daß die Beanspruchung des Auges dabei eine andere ist. Sehr interessante Versuche hat nach dieser Richtung ein Amerikaner, Langley, angestellt. Er hat die Lichtwirkung bestimmt, welche bei Aufwendung gleicher Energiemenge erzeugt wird, und hat gefunden, daß, wenn diese Energie in rote Strahlung, verwandelt wird, und wir den Lichteindruck, den dieser auf das Auge hervorruft, mit 1 bezeichnen, dann die gelbe Strahlung mit derselben Energiemenge erzeugt, den Eindruck 28 000 hervorruft; in grüner Strahlung den Eindruck 100 000 und in violetter Strahlung 1600.

Rot	Gelb	Grün	Violett
1	28 000	100 000	1600

Das ist ein sehr wichtiges Resultat. Es zeigt, daß, wenn wir in ökonomischer Weise Licht erzeugen wollen, wir in erster Linie die grüne Strahlung zu bevorzugen haben. Am kostspieligsten ist das rote Licht, es erfordert am meisten Energieaufwand. Gelb ist schon besser, aber bei weitem am besten ist das Grün. Er hat ferner gezeigt, daß die Beanspruchung des Auges eine ganz verschiedene ist, am stärksten bei rotem, am schwächsten bei grünem Licht. Hieraus wird uns klar, weshalb das grüne Licht für uns so wohltuend ist und das Auge so gern auf grünen Matten weilt.

Die Fortschritte im Beleuchtungswesen sind zumeist darauf zurückzuführen, daß man Flammen mit immer höheren Temperaturen und größerem Reichtum an grünen Strahlen verwendet hat. Dies konnte nur geschehen, indem man die

Digitized by Google

glühenden Kohlenpartikelchen, die in der Gasflamme ebenso wie in der elektrischen Glühlampe das Leuchten hervorrufen, durch Körper ersetzte, welche höhere Temperaturen vertragen. Ein solcher Stoff ist z. B. Magnesia, eine Verbindung von Magnesium und Sauerstoff. Schon vor mehr als 20 Jahren versuchte ein Schwede, Fahnejhelm, solches Licht zu erzeugen, indem er kleine Stäbchen von Magnesia in eine entleuchtete Bunsenflamme von hoher Temperatur hängte. Den größten Fortschritt verdanken wir Auer v. Welsbach; er ersetzte die Magnesia durch andere Stoffe, die sogenannten seltenen Erden Thorium und Cerium, mit deren Salzen er die bekannten Strümpfe tränkt, die in der Flamme des Bunsenbrenners zu hoher Temperatur erhitzt werden. Es ist bekannt, daß die Lichtausbeute der Gasflamme dadurch auf das fünffache gesteigert wird. Nun ist aber die Strahlung der Auerstrümpfe eine intensiv grüne. Das hat viele Menschen gestört, und man hat die grüne Farbe wieder künstlich zu beseitigen versucht. Von unserem Standpunkt aus müssen wir sie empfehlen, sie ist nicht nur ökonomisch sondern auch hygienisch.

Wenn es sich darum handelt, festzustellen, welches Licht das menschliche Auge bedarf, um deutlich lesen und zeichnen zu können, so kommt die Flächenhelligkeit in Betracht. Die Physiologen haben festgestellt, daß, wenn das Auge nicht überanstrengt werden soll, eine Flächenhelligkeit von 10 Meterkerzen vorhanden sein muß. Die Meterkerze ist das Einheitsmaß für die Flächenhelligkeit, es ist diejenige, welche entsteht, wenn eine Normalkerze 1 m von der Fläche entfernt ist. Zehn solcher Meterkerzen reichen also aus. Festbeleuchtungen verlangen eine bei weitem größere Helligkeit; man geht bis zu 50 und 60 Meterkerzen. Die größte Helligkeit in unserem Schlosse ist im Rittersaal unter dem großen Kron-

Digitized by Google

leuchter erreicht, wo sie 50 Meterkerzen beträgt. Als der weiße Saal neu eingerichtet wurde, handelte es sich darum, eine neue Beleuchtung anzulegen, und es war zu überlegen, von welcher Intensität die Lichtquelle sein müßte. Es wurde eine Flächenhelligkeit von 50 Meterkerzen angenommen, doch als die Beleuchtungskörper angebracht waren, ergab sich eine viel größere Lichtfülle, über 60 Meterkerzen. Woher rührte das? Man hatte den Reflex der weißen Wände nicht in Rechnung gezogen. Jetzt, nachdem die Wände mit getöntem Marmor bekleidet sind, hat sich die übergroße Helligkeit wieder gemildert.

Das Sonnenlicht erzeugt im Juli bei klarem Himmel in der Mittagsstunde eine Flächenhelligkeit von 300 000 Meterkerzen. Noch größer ist allerdings die Helligkeit bei den Scheinwerfern. Ein solcher, der mit 50 Ampere arbeitet, erzeugt in einem Meter Entfernung eine Flächenhelligkeit von 6 000 000 Meterkerzen. Diese außerordentliche Intensität rührt daher, daß die sonst nach allen Seiten in den Raum entweichenden Strahlen konzentriert, in einem Bündel vereinigt und so auf die Fläche geworfen werden.

Nachdem durch das Auerlicht ein so intensiver Fortschritt in der Gasbeleuchtung erzielt war, kam die elektrische Beleuchtung etwas ins Hintertreffen, aber sie hat das, was beim Gaslicht zum Ziele führte, sich nutzbar gemacht und eine Steigerung der Leuchtkraft der Glühlampen bewirkt, die nun wieder der elektrischen Beleuchtung einen kleinen Vorsprung zu geben berufen sein dürfte.

Betrachten wir zunächst das gewöhnliche Glühlicht, wie wir es seit 1879 in Gebrauch haben, so wird dabei bekanntlich durch den elektrischen Strom ein Kohlenfaden zum Glühen gebracht. Edison war der Erste, der in praktischer Weise solche Lampen herstellte, und 1879 wurde der Dampfer

Digitized by Google

„Columbia“ zum ersten Male mit seinen Lampen erleuchtet.

Was die Fabrikation der Glühlampen anbetrifft, so dürfte bekannt sein, daß die Kohlenfäden hergestellt werden aus vegetabilischen Stoffen, aus Bambusfaser, oder, wie jetzt fast ausschließlich, aus Cellulose. Es wird Baumwolle in Schwefelsäure gelöst, das gibt eine breiartige Masse, die durch feine Glasröhren gepreßt, in Wasser übertritt und dabei erstarrt. Die feinen hellglänzenden Fädchen werden in Kohlenpulver verpackt und in festverschlossenen Muffeln einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt für mindestens 24 Stunden: dabei wird die Zellulose völlig in Kohle verwandelt; sie erhält eine schöne gleichmäßige und harte Oberfläche. Ein so präparierter Faden wird zunächst mit kleinen Anschlußdrähten aus Platin versehen. Man muß Platin wählen wegen der Gleichheit des Ausdehnungskoeffizienten mit dem des Glases. Man bringt dann den Faden selbst in das Innere einer Glasglocke, welche in rohem Zustande aus den Glashütten bezogen wird. Hierauf werden die Lampen evakuiert. Bei gewöhnlicher atmosphärischer Luft könnten wir niemals einen solchen Faden auf die Dauer in hohe Glut versetzen, er würde verbrennen. Es ist also nötig, daß das Erglühen des Fadens erfolgt unter vollständigem Luftabschluß, bezw. in einer indifferenten Atmosphäre.

Man hat gefunden, daß der so hergestellte Faden noch nicht ausreicht, um eine haltbare Glühlampe zu geben, er besitzt noch zuviel Ungleichheiten in seinem Querschnitt. Man hat ihn darum zu egalisieren versucht, und zwar durch einen sehr interessanten elektrischen Prozeß. Man füllt die fertiggestellte Glühlampe vor der Evakuierung mit Kohlenwasserstoffen und schickt dann durch den Kohlenfaden elektrischen Strom. Infolge der Wärme zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe, und es scheidet sich der Kohlenstoff in außerordentlich

Digitized by Google

feiner Gestalt ab; er füllt die Poren und Unebenheiten des Fadens vollständig aus, und zwar dort am dichtesten, wo die Temperatur am größten, der Querschnitt also am kleinsten ist. Daher wird der Faden vollkommen gleichmäßig. Es dürften heute kaum noch Glühlampen hergestellt werden ohne dieses Verfahren.

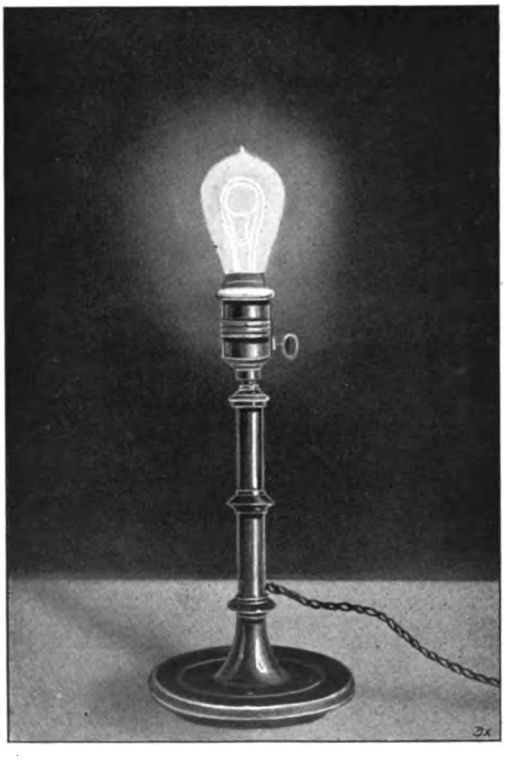


Fig. 40.

Trotzdem ist die Lebensdauer einer Glühlampe eine beschränkte. Wir dürfen dieselbe nicht mit einer zu starken Spannung beanspruchen, d. h. den Faden nicht auf eine zu hohe Temperatur bringen.

Ich habe hier eine Glühlampe, welche mit steigender Spannung beansprucht werden soll. Wir wollen sie zunächst zum normalen Glühen bringen. — Die Spannung beträgt jetzt etwa 60 Volt, der Strom, der hindurchgeht, etwa $3^1/_2$ Ampere. — Nun wollen wir die Spannung steigern. (Fig. 40.) Sie werden sehen, das wir dadurch die Temperatur des Fadens erhöhen, die Wärmeproduktion steigt, und die Lichtemission wird eine intensivere. Wir wollen dies

Digitized by Google

weiter treiben. Jetzt ist die Spannung gestiegen auf etwa 85 Volt. Die Lichtemission nimmt ununterbrochen noch zu bis zu einer fast unerträglichen Helligkeit. Sie sehen aber, die Lebensdauer der Lampe hat darunter gelitten, denn jetzt zerbricht der Faden.

Also wir sind in der Beanspruchung unserer Glühlampen durchaus nicht unabhängig von den Eigenschaften des Fadens. Wenn wir unseren Lampen eine Lebensdauer von 800 bis 1000 Brennstunden erteilen wollen, dürfen wir eine Kohlenglühlampe von 16 Normalkerzen nicht höher beanspruchen als mit 0,5 Ampere bei einer Spannung von 100 Volt. Die Gesamtenergie, in elektrischen Einheiten gemessen, wird dann in dem leuchtenden Faden 50 Watt. Soll also eine ausreichende Lebensdauer der Lampe gewährleistet sein, so dürfen wir sie nur beanspruchen mit 50 Watt, das macht für die Normalkerze rund 3 Watt.

Will man die elektrische Glühlichtbeleuchtung ökonomischer gestalten, so muß man die Temperatur des leuchtenden Fadens steigern. Wie kann man das machen? Die Kohle hält nur eine gewisse Temperatur aus — wenig über 1300° — da verflüchtigt sie sich schon und schlägt sich in Form eines dichten Kohlenspiegels auf dem Glase nieder, sie schwärzt die Lampe, und die Leuchtkraft geht manchmal herunter bis auf 30 pCt. Solche Lampen sieht man häufig, man ersetzt sie nicht gleich durch andere, weil die Lampe heute immer noch 50—60 Pf. kostet.

Will man also höhere Lichtintensitäten erzeugen, bei geringerem Energieverbrauch, dann muß man die Temperatur des Fadens steigern. Da die Kohle dies nicht erlaubt, muß man zu anderen Stoffen übergehen. Nun ist in neuerer Zeit ein erheblicher Fortschritt dadurch erzielt worden, daß man

Digitized by Google

die Magnesia, die schon Fahnejhelm zur Lichterzeugung benutzte, auch für die Glühlampen verwandte.

Diesen Weg hat Prof. Nernst beschritten. Er hat an Stelle der Kohlenfäden Stäbchen aus Magnesia genommen und in den Stromkreis eingeschaltet. Die Magnesia aber ist ein Körper, welcher bei gewöhnlicher Temperatur so gut wie gar nicht leitet; er wird erst zu einem Leiter bei höherer Temperatur. Bei seinen Lampen ist es daher nötig, den Magnesiastift durch eine künstliche Wärmequelle zunächst auf höhere Temperatur zu bringen. Dies geschieht durch einen Metalldraht, der um den Magnesiastift geschlungen, zunächst durch den elektrischen Strom erwärmt wird, dadurch wird der Magnesiastift auf die erforderliche Temperatur gebracht.

Fig. 41.

An dieser Lampe können wir nun Messungen vornehmen. (Fig. 41.) Sie brennt mit 120 Volt und verbraucht 0,4 Ampere, das sind also rund 50 Watt. Sie gibt dabei ein Licht von 25 Normalkerzen, verbraucht somit pro Normalkerze 2 Watt, die Lichtausbeute ist also wesentlich größer, als bei der Kohlenglühlampe.

Digitized by Google

Man ist bei der Herstellung von Lampen mit höherer Ökonomie nicht beschränkt auf Magnesia, man kann auch andere Körper nehmen, die sonst Nichtleiter sind, wenn es nur gelingt, sie durch Temperaturerhöhung zu Leitern zu machen. In den sogenannten Metallfadenlampen verwendet man neuerdings Fäden aus schwer schmelzbaren Metallen wie Osmium, Tantal, Wolfram und andere. (Fig. 42.) Nach Ansicht der Sachverständigen sind die Tage der Kohlenglühlampe gezählt. —

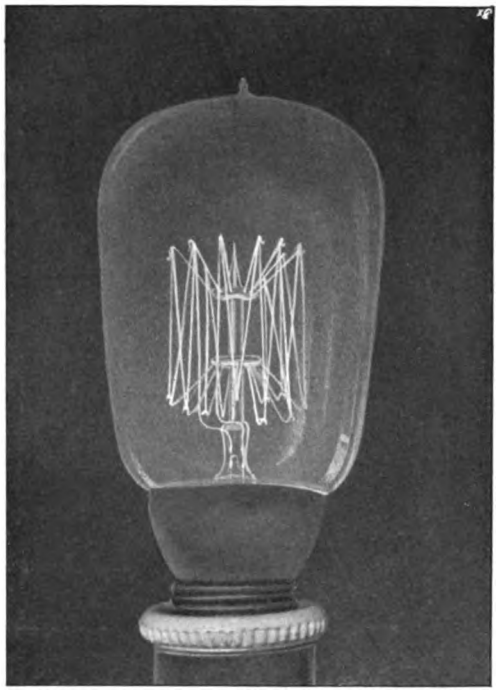


Fig. 42.

Bei dem elektrischen Bogenlicht findet die Erzeugung des Lichts in anderer Weise statt.

Denken wir uns den elektrischen Strom durch einen Kohlenfaden hindurchgeführt und diesen plötzlich gebrochen. Im ersten Augenblick noch herrscht an der Bruchstelle eine so hohe Temperatur, daß die Kohle verbrennt. Es treten Gase auf, die bei hoher Temperatur leitend sind, und der Strom kann von dem einen Kohlenstückchen hinübergehen zu dem anderen. Es bildet sich das Phänomen des elektrischen Lichtbogens.

Digitized by Google

Davy war der Erste — 1804 — der einen solchen Lichtbogen mit einer größeren Voltabatterie erzeugte. Er nannte die Erscheinung einen Lichtbogen. (Fig. 43.) Warum? Bei dem ersten Versuch benutzte Davy horizontale Kohlenstäbe, die Flamme krümmte sich im Luftzug nach oben, und es bildete sich ein sichelförmiger Bogen. Bei der heutigen ver-

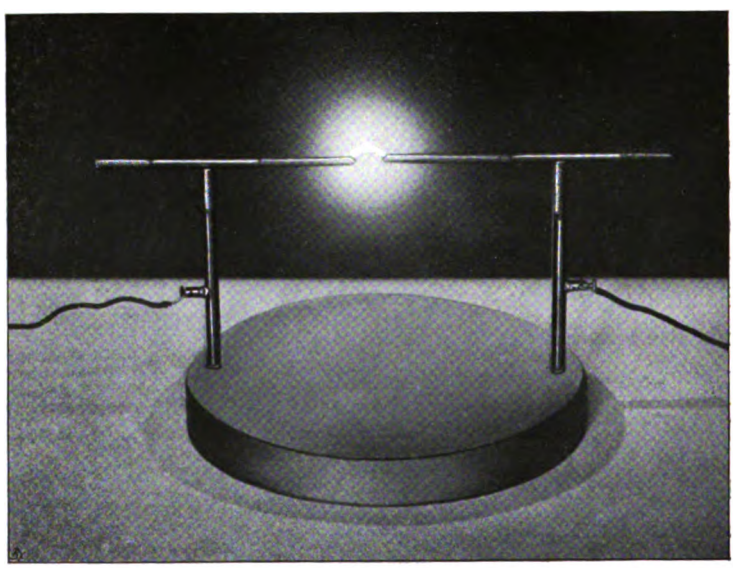


Fig. 43.

tikalen Anordnung der Kohlenstäbe kann das garnicht eintreten. Der Name ist aber geblieben.

Wir wollen uns jetzt einen solchen Bogen auf die Leinwand projizieren. (Fig. 44.) Der Strom tritt über von der oberen Kohle, der positiven, zur unteren negativen. Wir sehen, daß dabei die obere Kohle eine andere Form annimmt, als die untere. Sie höhlt sich aus und bildet einen Krater, während die negative Kohle eine geringe Zuspitzung

Digitized by Google

erfährt. Der für die Lichtemission hauptsächlich in Betracht kommende Teil ist der Krater, bezw. dessen Ränder und die oberste Spitze der unteren Kohle. In diesem Kohlenbogen herrscht eine außerordentlich hohe Temperatur. Man hat Temperaturen bis 3500° gemessen, und alle unsere Metalle, Platin sogar, schmelzen darin mit größter Leichtigkeit. Das ist ein Platindraht, den ich hineinhalte; Sie sehen, er schmilzt wie Butter an der Sonne.

Fig. 11.

Davy benutzte Holzkohle, jetzt stellt man die Kohlen auf künstlichem Wege dar. Um das Licht möglichst zu zentralisieren, hat man die obere Kohle mit einem weicheren Kern versehen, das sind die sogenannten Dochtkohlen. Die untere Kohle ist dagegen vollständig homogen.

Es ist möglich, solche Lichtbögen auch mit anderen Materialien zu erzeugen, wir sind nicht an die Kohle gebunden. Diese Lampe zeigt die Erzeugung eines Lichts mit Eisenstäben. Das Licht hat eine bläuliche Färbung. Statt des Eisens können wir auch Silberstifte verwenden. Sie nehmen ein schönes, grünlich gefärbtes Licht wahr.

Die Kohlen brennen ab, und wenn die Lampe nicht zu große Dimensionen annehmen soll, müssen die Kohlen nach

Digitized by Google

6 bis 8 Stunden erneuert werden. Für viele Zwecke ist dies sehr hinderlich, z. B. bei Flußbeleuchtungen, oder wenn die Lampen sehr hoch hängen.

Fig. 45.

Man verfertigt daher in neuerer Zeit Lampen mit längerer Brenndauer. (Fig. 45.) Eine solche von Jandus zuerst in den Handel gebrachte Konstruktion sehen Sie hier. Bei dem gewöhnlichen Kohlenlicht wird ein Teil der Kohle durch den elektrischen Prozeß verflüchtigt, ein anderer Teil derselben verbrennt, da der Sauerstoff der Luft freien Zutritt hat. Bei dieser Lampe ist dem Sauerstoff der Luft der Zutritt behindert; die innere helle Glocke ist dicht abgeschlossen. Es läßt sich hier natürlich kein absolut hermetischer Abschluß erzielen, aber ein Abschluß, der doch hinreicht, um das unbehinderte Eintreten frischer Luft zu erschweren. Infolgedessen füllt sich der innere Raum dieser Glocke mit den Verbrennungsprodukten, zumeist Kohlensäure und Kohlenoxyd. In dieser Atmosphäre findet nun aber

Digitized by Google

keine Verbrennung der Kohle weiter statt, sie verzehrt sich nur durch den elektrischen Prozeß, und infolgedessen können die Kohlen viel längere Zeit benutzt werden. Der Abbrand ist wesentlich geringer. Diese Lampe reicht für 100 Brennstunden. Allerdings erfordert die eigentümliche Anordnung eine höhere Spannung. Während dieselbe an der gewöhnlichen Bogenlampe nur 40 bis 50 Volt beträgt, verlangen diese Lampen 100 Volt, Sie brauchen allerdings auch geringeren Strom, so daß für die Ökonomie die Sache nicht wesentlich ungünstiger wird.

Die Bogenlampen haben den Glühlampen gegenüber einen empfindlichen Nachteil. Sie bedürfen einer Wartung wegen des Abbrandes der Kohlen. Man hat bei den Jandus-Lampen zwar versucht, die Brenndauer zu verlängern, schließlich muß aber eine Auswechslung doch stattfinden. Dazu kommt der Nachschub der Kohlen während des Brennens, und zwar verzehrt sich die positive doppelt so schnell, wie die negative. Dieser Nachschub geschieht entweder nur einseitig, indem man eine Kohle verstellt, oder es werden beide Kohlen reguliert. Das sind die Lampen mit fixem Brennpunkt. Wenn es sich um einzelne große Lichter handelt, wie bei den Scheinwerfern, dann pflegt man die Regulierung mit der Hand auszuführen. Bei den gewöhnlichen Lampen aber überträgt man den Nachschub der Kohlen einem automatisch wirkenden Regulierungsmechanismus.

Wenden wir uns einer Betrachtung der Lichtverteilung der Bogenlampen zu. Man macht die obere positive Kohle wegen des schnelleren Abbrandes gewöhnlich etwas stärker und versieht sie mit einem sogenannten Docht aus weicherer Kohle, damit der Stromübergang zwischen den beiden Kohlen tunlichst zentralisiert wird. Tut man dies nicht, so erhält man einen Lichtbogen, der leicht am äußeren Rande der

Digitized by Google

Kohlen im Kreise herumwandert und bewirkt, daß die Lampe nach verschiedenen Richtungen verschieden starkes Licht aussendet. Die hauptsächlich an der Lichtemission beteiligten Elemente sind in erster Linie der Krater der positiven Kohle und zweitens die Spitze der negativen Kohle. Daraus folgt, daß das Licht, welches eine solche Bogenlampe nach verschiedenen Richtungen aussendet, ungleich sein muß. Wenn wir durch photometrische Versuche die Lichtintensität in der Horizontalen bestimmen, so erhalten wir eine Lichtstärke, welche durch eine verhältnismäßig kleine Strecke O H in Fig. 46 wiedergegeben ist. Wenn wir die Leuchtkraft nun unter verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale bestimmen, so erhalten wir größere Lichtstärken, welche bei 40° etwa das Maximum erreichen. Für größere Winkel fällt die Lichtstärke wieder. Bei einem Bogenlicht von 10 Ampere beträgt die maximale Lichtintensität gemessen unter dem günstigsten Winkel etwa 1000 bis 1200 Normalkerzen, bei einem Bogenlicht mit 15 Ampere steigert sich diese Leuchtkraft bis auf 2000 Normalkerzen. Für eine Bodenbeleuchtung ist dieser Umstand günstig.

Will man eine indirekte Beleuchtung ausführen, wie z. B. in diesem Saal, so kehrt man die beiden Kohlen um und wirft den gesamten Lichtschein gegen eine weiße Decke. Von dieser wird dann ein sehr schönes gleichmäßiges diffuses Licht ausgesandt, welches das Tageslicht zu ersetzen geeignet ist. Natürlich kostet eine solche Beleuchtung viel mehr Kraft als die direkte. Wollten wir diesen Saal mit direkter Beleuchtung erhellen, so würden zwei von diesen sechs Bogenlampen vollkommen ausreichen.

Wie soll man nun die Lichtstärke einer Bogenlampe angeben? Die horizontale Lichtintensität, die Leuchtkraft gemessen unter dem günstigsten Winkel, oder eine mittlere? —

Digitized by Google

das letztere geschieht am häufigsten. Man verwandelt die eiförmige Fläche (Fig. 46) in einen Halbkreis und nennt den Radius die mittlere hemisphärische Intensität. Früher verwandelte man die Fläche in einen Kreis. Da Bogenlampen fast ausschließlich für eine einseitige Lichtwirkung gebraucht werden, so hat die Angabe der sphärischen Leuchtkraft eigentlich keinen Sinn. Es ist darum richtiger, daß man dazu übergegangen ist, die hemisphärische als die eigentliche Leuchtkraft der Lampe zu bezeichnen.

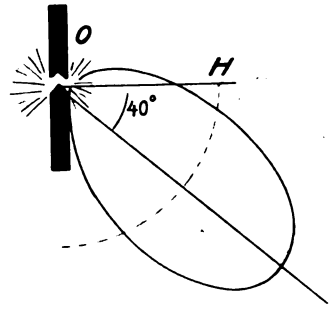


Fig. 46.

Der Käufer einer Bogenlampe muß natürlich wissen, welche Leuchtkraft gemeint ist. Das kann unter Umständen zu recht ärgerlichen Differenzen führen. Hier in Berlin wurde eine solche Angelegenheit einmal zu einer cause célèbre. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft machte der Stadt Berlin den Antrag, die Linden elektrisch zu beleuchten. Die Stadt ging darauf ein. In dem Kontrakt war ausdrücklich angegeben, es sollten Lampen von 2000 Normalkerzen Helligkeit Verwendung finden, und die Stadt zahlte dafür ein bestimmtes Pauschquantum. Mit der Einführung der elektrischen Beleuchtung waren damals die Gasinteressenten sehr unzufrieden; sie fürchteten die Konkurrenz des elektrischen Lichts und versuchten, Widerstand zu leisten. Sie konnten den Fortschritt zwar nicht aufhalten, machten sich aber das Vergnügen, als die Lindenlampen nun hingen, Nachts, wo sie ungestört waren, zum Teil aus den Fenstern der Häuser photometrische Messungen anzustellen. Die Resultate wurden veröffentlicht und besagten, daß die Lindenlampen mit einer

Digitized by Google

mittleren Intensität von etwa 500 Normalkerzen brannten. Darüber allgemeines Schütteln des Kopfes bei den Vätern der Stadt. In dem Kontrakt waren 2000 Normalkerzen garantiert! — Sachverständige wurden herbeigerufen. Die Messungen zeigten, daß die Lampen ohne Glocke unter dem günstigsten Winkel tatsächlich 2000 Normalkerzen lieferten, und im Kontrakt stand ausdrücklich: „Gemessen unter dem günstigsten Winkel.“ Das hatte man nicht verstanden. Die Leuchtkraft wird zudem stark verringert durch die Umhüllung mit Glocken. Die hierdurch hervorgerufene Schwächung des Lichts beträgt 30 bis 50 pCt., je nach der Stärke und Färbung des Glases. Bei den Lampen unter den Linden findet eine solche Schwächung um 30 pCt. durch die Glocken statt. Die benutzten Glocken sind aus Milchglas, die Leuchtkraft wird dadurch auf eine größere Kugel verteilt und nach allen Seiten, auch nach oben ausgesandt. Das ist für die Straßenbeleuchtung durchaus unerwünscht, denn man will die Straßen beleuchten und nicht den Himmel. Durch Anbringung von Reflektoren hat man sich zu helfen gesucht. Diese sind aber nur wirksam, solange sie Reflexwirkungen ermöglichen; es müssen weiße, glatte Flächen sein. Die Reflektoren unter den Linden sind jetzt nichts weniger als weiß, und der Effekt dürfte nahezu Null sein.

Noch ein paar Worte über die Farbe des Lichtes. Aus unseren früheren Betrachtungen wissen wir, daß, je höher die Temperatur einer Leuchtquelle steigt, desto reicher das Licht wird an grüner und blauer Strahlung. Nun ist die Temperatur in dem Lichtbogen eine sehr hohe im Verhältnis zur Temperatur der Glühlampe. Während bei der letzteren nur Temperaturen von etwa 1300° in dem leuchtenden Kohlenfaden auftreten, haben wir in dem Lichtbogen Temperaturen über 3000°. Daraus folgt, daß das Bogenlicht einen viel

Digitized by Google

größeren Reichtum an blauen Strahlen besitzt. Der Erfolg ist der, daß Gegenstände, welche wir bei Glühlichtbeleuchtung in rötlichem Lichte zu sehen gewohnt waren, bei Bogenlicht einen Stich ins Bläuliche erhalten. Das wirkt für das Auge unschön. Für Festbeleuchtungen, für Tanzsäle und dergleichen ist deshalb das Bogenlicht nicht zu empfehlen, da wir die Gesichter der Damen in rosigem Licht sehen wollen: sie bekommen durch das Bogenlicht einen fahlen Schein. In vielen Fällen muß man aber trotzdem, um die erforderliche Leuchtkraft zu erreichen, zum Bogenlicht seine Zuflucht nehmen.

Ein solcher Fall lag z. B. vor bei dem Umbau des Weißen Saales im Schloße. Se. Majestät der Kaiser wünschte von der früheren Beleuchtungsart mit den vielen tiefhängenden Kronleuchtern Abstand zu nehmen, weil sie eine außerordentliche Wärme verbreiteten und den freien Ausblick vom Thron behinderten. Die Architekten erhielten die Aufgabe, die Leuchtkörper höher an die Decke zu bringen und ampelartig zu gestalten. Dabei stellte sich heraus, daß wegen der großen Höhe eine enorme Zahl von Glühlampen verwendet werden mußte und daß die Hitze für die Decke verhängnisvoll werden konnte. Hieran schien die Lösung zu scheitern. Da wurde der Vorschlag gemacht, ein aus Bogenlicht und Glühlampen gemischtes Licht zu verwenden. Man umgab die Bogenlampen mit einem halbkugeligen Panzer von Glühlampen. Das gab keinen zufriedenstellenden Eindruck: es bildeten sich scharfmarkierte Schatten, und man konnte jeden einzelnen Strahl des Bogenlichtes neben den rötlichen Strahlen des Glühlichtes erkennen. Die Mischung des Lichtes wurde erst erreicht, als man den ganzen Beleuchtungskörper in einen doppelten Krystallkorb schloß, der aus lauter kleinen tetraedrischen Krystallen zusammengesetzt war. Das erzielte Licht war außerordentlich reizvoll; es vereinte den

Digitized by Google

warmen goldigen Schimmer des Glühlichts mit dem Glanz des Bogenlichts.

Der elektrische Lichtbogen hat aber noch eine andere Eigenschaft, welche für die Technik von Wert ist. Das ist die hohe Temperatur. Die höchsten Temperaturen, welche man in Öfen erzielen kann, betragen wenig über 2000° C., in dem Lichtbogen hat man Temperaturen bis 3500° C. gemessen.

Ganz neue Wirkungen haben sich gezeigt, als die Chemiker von dieser hohen Temperatur Gebrauch machten. Es spielen sich dabei chemische Prozesse ab, die bei niedrigen Temperaturen überhaupt nicht möglich sind, und man hat eine ganze Reihe von neuen Verbindungen hergestellt. Einige dieser Verbindungen haben bereits wichtige technische Bedeutung erlangt, und die unausgesetzten Forschungen der Chemiker versprechen eine weitere reiche Ausbeute. Die Reihe dieser Arbeiten begann mit einer Untersuchung, die eine praktische Bedeutung zwar nicht gewonnen hat, die aber doch interessant ist. Es war die künstliche Herstellung von Diamanten.

Man hat Diamanten häufig darzustellen versucht: die bekannten Verfahren sind aber außerordentlich schwierig und haben nur geringe Resultate ergeben. Ein französischer Forscher namens Moissan wurde hauptsächlich von dem Bestreben geleitet, für die Zwecke der Technik einen Stoff zu finden, welcher größere Härte besitzt als der Korund, d. i. krystallisierte Tonerde, aus welcher die Schmirgelscheiben bestehen.

Moissan suchte auf chemischem Wege Diamantpulver zu erzeugen — nicht große Diamanten, welche als Schmucksteine dienen könnten —, und sah bald, daß die bekannten

Digitized by Google

Verfahren nicht zum Ziele führten. Zu jener Zeit wurden die Kimberley-Minen in Afrika entdeckt; er ließ sich Proben von den Mineralien senden, in denen diese Diamanten gefunden wurden, den sogenannten blue ground. Er fand Eisen darin. Weitere Untersuchungen zeigten, daß überall, wo Diamanten gefunden wurden, auch Eisen vorhanden war. In dem großen Meteor, welches zu Cañon Diablo gefunden war, hatte man gleichfalls in Eisen gebettet kleine Diamantensplitter gefunden. Hierauf gründete Moissan eine neue Hypothese bezüglich der Entstehung der Diamanten. Es ist bekannt, daß das Eisen ein außerordentlich gutes Lösungsmittel für Kohlenstoff ist, und zwar steigt die Aufnahmefähigkeit des geschmolzenen Eisens für denselben in ganz außerordentlichem Maße mit der Temperatur. Das gewöhnliche Roheisen, das aus dem Hochofen fließt, ist gesättigt mit Kohlenstoff; er befindet sich vollkommen in Lösung, sowie aber das Eisen erstarrt, schießen die Kohlenstoffpartikelchen heraus — weil bei niedriger Temperatur die Aufnahmefähigkeit eine viel geringere ist —, leider aber nicht in der ersehnten Form des krystallisierten Kohlenstoffes, sondern in der amorphen Form des Graphits. Das Spiegeleisen zeigt beim Erkalten zahlreiche Partikelchen von Graphit. Der Diamant ist ein Krystallisationsprodukt des Kohlenstoffs.

Moissan folgerte nun, daß die Diamanten in dem Meteoreisen durch Krystallisation unter hohem Druck entstanden seien. Das Meteor ist, als glühende Eisenmasse mit Kohlenstoff gesättigt, von einem Planeten losgelöst, in den kalten Weltenraum geschleudert. Dabei hat eine plötzliche Abkühlung stattgefunden, die äußere Kruste verhärtete sich, und da das Eisen bei der Abkühlung sich ausdehnt, entstand in dem gepanzerten Körper ein enormer Druck: unter diesem krystallisierte der Kohlenstoff.

Digitized by Google

Er hat diesen Prozeß künstlich nachzuahmen versucht, indem er in dem elektrischen Lichtbogen Eisen in Gegenwart von Kohlenstoff schmolz und dieses mit Kohlenstoff gesättigte Eisen tunlichst schnell abkühlte. Er bildete Tropfen, die er abfallen ließ, und zwar zuerst in Wasser, später auf Quecksilber oder Eisen. Dadurch wollte er eine schnelle Oberflächenkühlung herbeiführen, so daß die äußere Haut erstarrte, während der innere Kern eine Zeit lang noch flüßig blieb. Als er diese Tropfen untersuchte, konnte er darin tatsächlich Diamanten nachweisen.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, daß in jedem harten Eisen Diamanten vorhanden sind. In den Panzerplatten der Kriegsschiffe sind Milliarden von Diamanten, es ist sogar anzunehmen, daß die Härte des Stahles überhaupt nur von diesen Diamantensplittern herrührt.

Andere im elektrischen Lichtbogen ausgeführte Prozesse haben grössere praktische Bedeutung erlangt. Als die Moissan'schen Versuche bekannt wurden, beschäftigten sich zahlreiche Leute damit, besonders in Amerika: man wollte große Diamanten erzeugen. Als die Versuche fehlschlugen, kam man auf den Gedanken, wenn auch nicht Diamanten selber, so doch wenigstens einen Stoff zu erzeugen, der dem Diamanten an Härte möglichst nahe kam. Nächst dem Diamant ist Korund der härteste Stoff, die krystallisierte Tonerde. Diese läßt sich im Lichtbogen schmelzen. Der Amerikaner Atcheson suchte Tonerde mit dem Kohlenstoff zu verbinden. Er bekam einen Stoff, der bei der Untersuchung kleine Krystalle von außerordentlicher Härte zeigte. Man glaubte, eine neue Verbindung von Tonerde und Kohlenstoff gefunden zu haben. Die nähere Untersuchung zeigte, daß es eine Verbindung von Silicium mit Kohle war. Die geringe Beimengung von Quarz, die sich in der ver

Digitized by Google

wendeten Tonerde befunden hatte, war eine Verbindung mit dem Kohlenstoff eingegangen. Es war ein Körper entstanden, den man bis dahin gar nicht gekannt hatte, Silicium-Carbid. Da dieser nun eine Härte zeigte, welche der des Diamanten ziemlich nahe kam und größer war als die des Korund, war ein wertvolles Resultat erreicht, und heute arbeitet man am Niagarafall mit Tausenden von Pferdekräften an der Fabrikation dieses Stoffes. Es wird durch den elektrischen Lichtbogen Quarzsand, d. i. Kieselsäure, vereinigt mit Kohle, dann bildet sich der neue Stoff, dem Atcheson den Namen Karborund gegeben hat. Das Karborund bietet dem Schmirgel gegenüber einen nicht zu unterschätzenden Vorteil. Die Schmirgelscheiben werden hergestellt, indem man Korund mit Harzen vermischt und zu Scheiben preßt. Diese Stoffe vertragen aber keine hohe Temperatur; das ist ein empfindlicher Übelstand aller Schmirgelscheiben. Viel höhere Temperatur verträgt das Karborund. Atcheson vermischt es mit Kaolin und brennt die daraus geformten Scheiben, sie sind von großer Festigkeit.

Bald darauf trat eine zweite Errungenschaft hinzu. Der Chemiker eines großen Aluminiumwerkes in Amerika, Namens Willson, beschäftigte sich ebenfalls damit, Diamanten darzustellen und verwendete die großen Öfen der Aluminiumfabrik dazu. Eines Tages schmolz er Kalk mit Kohle zusammen. Als die Schmelzung beendet war und das fertige Produkt aus dem Tiegel gegossen wurde, sah er, daß es zu einer unansehnlichen Masse von koksartigem Aussehen erstarrte. Er war sehr enttäuscht und gab seinen Arbeitern den Auftrag, die Masse auf den Hof zu schütten. Sie luden den Stoff in eine eiserne Schubkarre, und warfen den Inhalt, da es geregnet hatte, in eine Pfütze. Ein kolossaler Qualm stieg auf und wälzte sich über das Fabrikgrundstück; als er über

Digitized by Google

einen Cupolofen strich, aus welchem Flammen herausschlugen, erfolgte eine außerordentlich heftige Explosion, so daß auf 2 Meilen in der Runde keine Fensterscheibe ganz blieb. Da sagte sich Willson: Ein Stoff, der solche Wirkung hervorruft, ist ebenso wertvoll wie Diamant und machte sich von Neuem an die Herstellung. Die chemische Untersuchung zeigte, daß ein Stoff gebildet war, den vor mehr als 40 Jahren schon Wöhler gefunden hatte, allerdings auf einem komplizierten chemischen Wege, eine Verbindung von Calcium — dem Metall des Kalkes — mit Kohlenstoff, das Calciumcarbid. Dieser Stoff, der in größeren Mengen nur herzustellen ist unter der Einwirkung der hohen Temperatur des Lichtbogens — sonst vereinigen sich Kohlenstoff und Calcium überhaupt nicht — hat die weitere merkwürdige Eigenschaft, daß, wenn man ihn mit Wasser zusammenbringt, ein Gas entsteht, das Acetylen, eine Verbindung von Kohlenstoff mit Wasserstoff, welches eine hohe Heizkraft und eine außerordentlich hohe Leuchtkraft bei der Verbrennung besitzt. Das Acetylen ist schnell in die Technik übergegangen, es sind heute schon in der Acetylenindustrie viele Millionen Kapital engagiert und über 100 000 Pferdestärken, hauptsächlich in Wasserkräften, sind beschäftigt, Calciumcarbid herzustellen. Der Preis ist in letzter Zeit sehr hoch gestiegen, weil die vorhandenen Fabriken der Nachfrage nicht genügen können.

Wir wollen nun diesen Prozeß hier praktisch vorführen. In dem elektrischen Lichtbogen wollen wir Kalk mit Kohlenstoff vereinigen, und aus dem gewonnenen Calciumcarbid wollen wir Acetylen erzeugen. (Fig. 47.)

Wir haben in diesem elektrischen Ofen einen Graphittiegel, angefüllt mit einem Gemisch von pulverisiertem Kalk und von Kohle; zwei Kohlenstäbe, die den elektrischen Strom zuführen, tauchen wir in das Gemisch. Es bildet sich

Digitized by Google

zwischen den beiden Kohlen der Lichtbogen aus, und unter der hohen Temperatur desselben findet die Vereinigung statt. Wir setzen eine Glimmerplatte davor, um die Augen zu

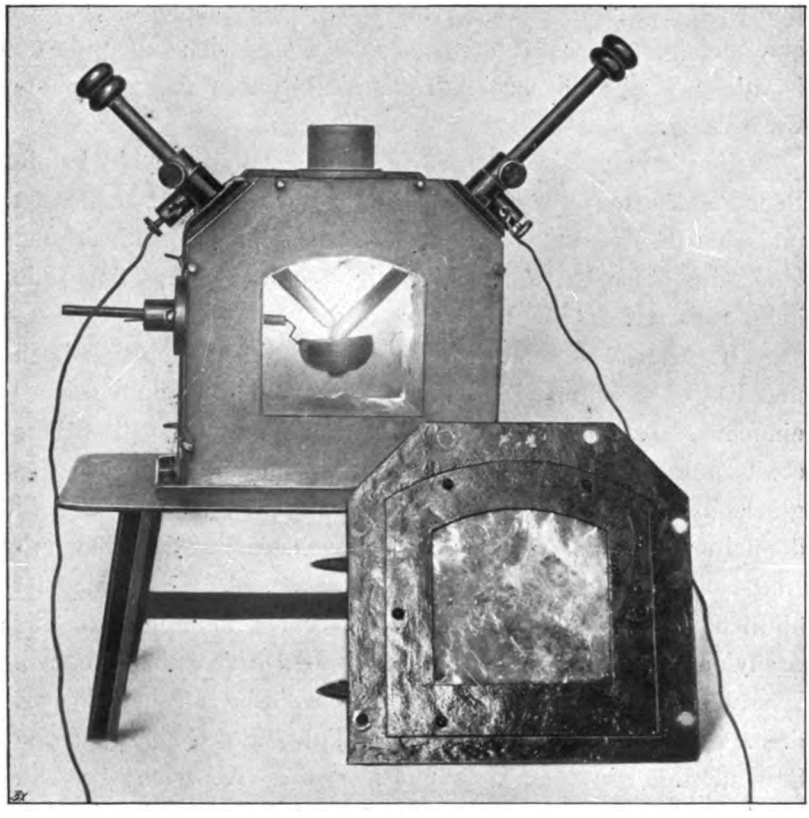


Fig. 47.

schützen. Die Dämpfe, die entstehen, sind Kalkdämpfe; wenn man sie einatmet, empfindet man einen lebhaften Hustenreiz; die Gegenstände im Zimmer überziehen sich mit einem feinen Kalkstaub.

Digitized by Google

Jetzt mag es genug sein, wir wollen das Carbid nachweisen, indem wir die Masse aus dem Tiegel schütten und mit Wasser übergießen. Es entwickelt sich lebhaft ein Gas, das ich mit dem Streichholz anzünden kann und das mit hellleuchtender Flamme verbrennt. Sie bemerken, daß ein unangenehmer Knoblauchsgeruch entsteht; aber daran ist nicht das Acetylen schuld, das sind Spuren von Phosphorwasserstoff.

Hier haben wir etwas von dem Calciumcarbid in ein Reagenzgläschen getan, haben Wasser darüber gegossen und das Ganze durch einen Kork verschlossen, durch den eine Glasröhre gesteckt ist, wir erhalten eine dauernde helle Flamme.

Die Leuchtkraft des Acetylen ist außerordentlich hoch und hat etwas sonnenähnliches, es hat sich deshalb schnell eingebürgert. Die industrielle Entwicklung wurde allerdings etwas gehemmt, als vor einigen Jahren einige schwere Unglücksfälle sich ereigneten. Das Acetylen bietet nämlich in doppelter Hinsicht Gefahr. Vermischen Sie dasselbe mit Luft, so entsteht ein explosives Gemenge. Die Explosion ist ähnlich wie beim Leuchtgas. Außerdem aber besitzt das Acetylen eine Gefahr, die wir beim Leuchtgas nicht kennen. Dasselbe ist nämlich ein sogenannter endothermischer Körper, d. h. es braucht zur Explosion nicht die Gegenwart von Sauerstoff. Die Stoffe, aus denen das Acetylen besteht, Kohlenstoff und Wasserstoff, nehmen in dem Acetylen in verdichtetem Zustande einen minimalen Raum ein, der sich vertausendfacht, sobald der Wasserstoff in die gasförmige Form übergehen kann. Wenn nun ein solcher Körper in seine Bestandteile zerfällt, so entsteht eine gewaltige und plötzliche Volumenveränderung, so daß das Ganze den Charakter einer Explosion annimmt. Aber glücklicherweise findet dieser

Digitized by Google

Zerfall nur statt, wenn das Acetylen komprimiert ist, und zwar verlangt es eine Kompression von mindestens zwei Atmosphären. Am gefährlichsten ist es, wenn man das Acetylen verflüssigt, dann haben die Explosionen direkt verheerende Wirkungen.

Die ersten Studien über die Gefährlichkeit des Acetylens verdanken wir Berthelot, dem berühmten französischen Chemiker. Er füllte große Bomben mit komprimiertem Acetylen und ließ sie 4 m herunterfallen; es traten furchtbare Explosionen auf. Fast schien es, als würde diese Gefahr das Acetylen vollständig von der praktischen Verwendung ausschließen. Weitere Versuche haben indes gezeigt, daß, wenn das Acetylen nicht komprimiert ist, die Gefahr der endothermischen Zersetzung nicht vorhanden ist.

Die Frage, ob man das Acetylen nicht zur Verbesserung der Beleuchtung in unseren Eisenbahnwagen verwerten kann, hat den Eisenbahnminister veranlaßt, besondere Studien ausführen zu lassen. Im Sommer 1897 haben in der Fabrik von Pintsch in Fürstenwalde interessante Versuche stattgefunden, an denen ich teilnahm; diese haben zur Evidenz bewiesen, daß Mischungen aus $^2/_3$ Fettgas und $^1/_3$ Acetylen nicht durch Zufall zur Explosion gebracht werden können, sondern nur, wenn sie mit Luft gemischt sind. Sie bieten somit keine größere Gefahr als das bisher verwendete Fettgas. Auf Grund dieser Versuche ist unsere Eisenbahnverwaltung dazu übergegangen, die sämtlichen Eisenbahnwagen mit diesem Gemisch zu beleuchten.

Es ist noch garnicht abzusehen, welche Stoffe der elektrische Ofen uns noch liefern wird. Die Elektrochemiker sind an der Arbeit, und die Fachjournale sind gefüllt mit Berichten über eigentümliche Verbindungen, die dadurch möglich geworden sind.

Digitized by Google

Aber auch nach anderer Richtung hin ist die hohe Temperatur des Lichtbogens technisch verwertet worden, nämlich zum Schweißen und Löten der Metalle. Der Erste, der auf diesem Gebiete praktische Vorschläge machte, war der Russe Benardos. Nach seinem Schweiß- und Schmelzverfahren (Fig. 48) wird der Metallkörper z. B. Eisen, mit

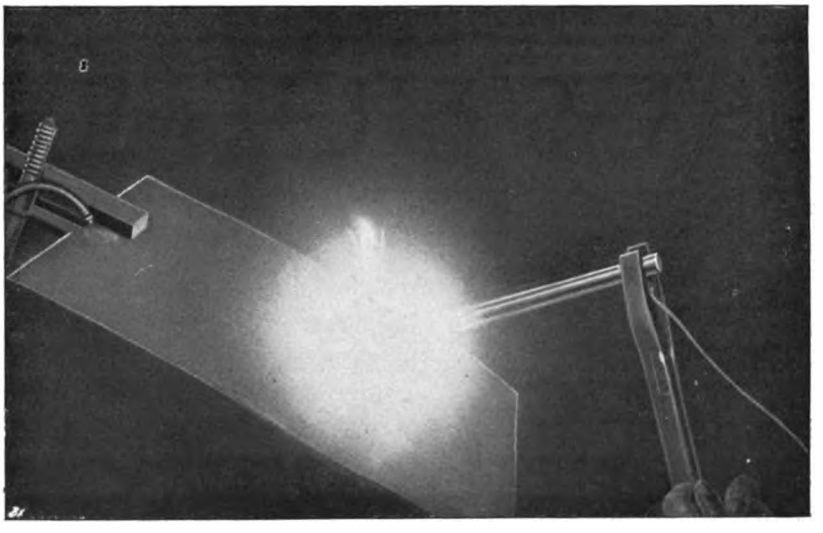


Fig. 48.

dem einen Pol der Batterie oder Maschine, der andere Pol mit einem dicken Kohlenstift verbunden. Man ersetzt also die eine Kohle durch das Metall, welches behandelt werden soll und bearbeitet gewissermaßen das Metall mit dem zweiten Kohlenstift. Macht man Berührung und zieht die Kohle wieder zurück, so bildet sich der Bogen, der vom Eisen zur Kohle übergeht, und in der hohen Temperatur schmilzt natürlich das Eisen wie Butter. Man hat es in der Hand, auf diese Weise Risse oder Löcher zuzudecken, Metallplatten

Digitized by Google

miteinander zu verbinden, Gußfehler zu beseitigen, gebrochene Stücke wieder zu reparieren usw. Man knüpfte anfangs große Erwartungen an dieses Verfahren; sie haben sich leider nicht erfüllt, aus dem einfachen Grunde, weil der zu bearbeitende Stoff, das Eisen, selber die hohe Temperatur annimmt. Dabei verbrennt es leicht und schweißt nicht. Die reparierten Stücke haben nicht gehalten, und das Benardos'sche Verfahren ist heute aus der Technik so gut wie verschwunden.

Ein anderer Erfinder, Namens Slavianoff, hat das Benardos'sche Verfahren verbessert. Er hat die Kohle durch Metall ersetzt. Will er z. B. irgend einen Riß im Eisen ausfüllen, dann verwendet er an Stelle des Kohlenstiftes einen Eisenstab und bringt Eisen zum Abschmelzen. Mit diesem geschmolzenen Eisen füllt er die verschiedenen Vertiefungen usw. aus. Es hat sich bei diesem Verfahren herausgestellt, daß eine gut haltbare Verbindung erreicht werden kann, wenn man das Arbeitsstück vorwärmt. In der Fabrik von Pintsch zu Fürstenwalde ist das Verfahren in Gebrauch. Ich habe eine Reihe von sehr schönen Stücken gesehen, bei denen tatsächlich durch diesen Prozeß Gußfehler beseitigt waren.

Noch einen Schritt weiter ging Zerener, welcher sich die Aufgabe stellte, die Temperatur in beliebiger Weise zu regulieren. Er führte das zu behandelnde Werkstück nicht direkt in den Lichtbogen ein, machte es also nicht zum Träger des Bogens, sondern bildete den Bogen besonders aus. Damit hat er es in der Hand, durch größere oder geringere Annäherung des Lichtbogens an das zu bearbeitende Metall jede beliebige Temperatur zu erzeugen.

Sie sehen hier an diesem Zerener'schen Lötapparat zwei Kohlen, die unter einem Winkel von 30° gegeneinander geneigt sind. (Fig. 49.) Durch einen kleinen Druck auf einen Hebel kann ich die beiden Kohlen zur Berührung

Digitized by Google

bringen, und es bildet sich zwischen ihnen der Lichtbogen. Er würde aber ohne weiteres direkt zwischen den Kohlen übergehen und die Lötstelle garnicht berühren. Um eine Stichflamme zu bilden, hat Zerener ein interessantes Verfahren angewandt. Er hat magnetische Kraft benutzt, um den Lichtbogen abzulenken.

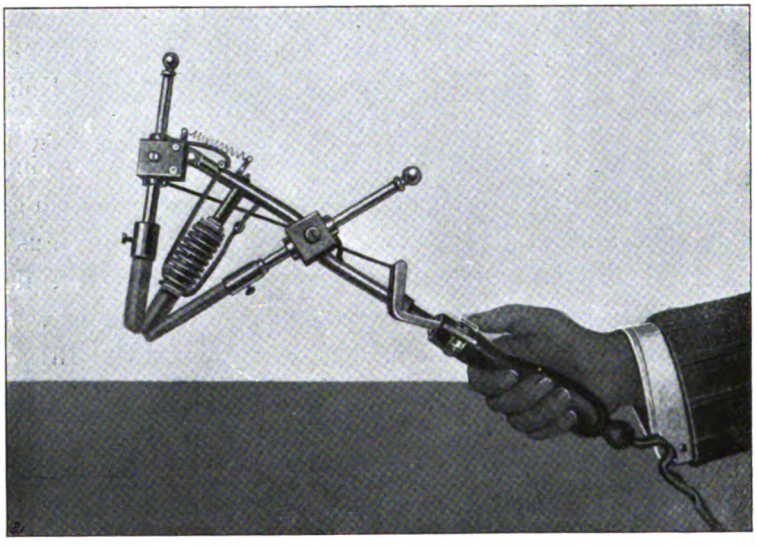


Fig. 49.

Ehe ich das Werkzeug in Tätigkeit setze, will ich durch einen Versuch den physikalischen Zusammenhang zeigen. (Fig. 50.) Ich werde hier durch eine Spule einen Eisenkern kräftig magnetisieren. Ein stromführender Leiter übt auf jeden Magneten eine ablenkende Kraft aus. Hier werden wir das Umgekehrte sehen: ein starker Magnetismus wird einen Leiter, welcher von Strom durchflossen ist, mit ansehnlicher Kraft zur Seite stoßen. Wir haben über dem Kern des

Digitized by Google

Elektromagneten einen Kupferdraht an zwei dünnen Metallfäden aufgehängt und werden durch diesen Leiter einen Strom führen, während wir zugleich den Elektromagneten erregen. Sie sehen, daß der Leiter eine Ablenkung erfährt und in der Schwebe gehalten wird.

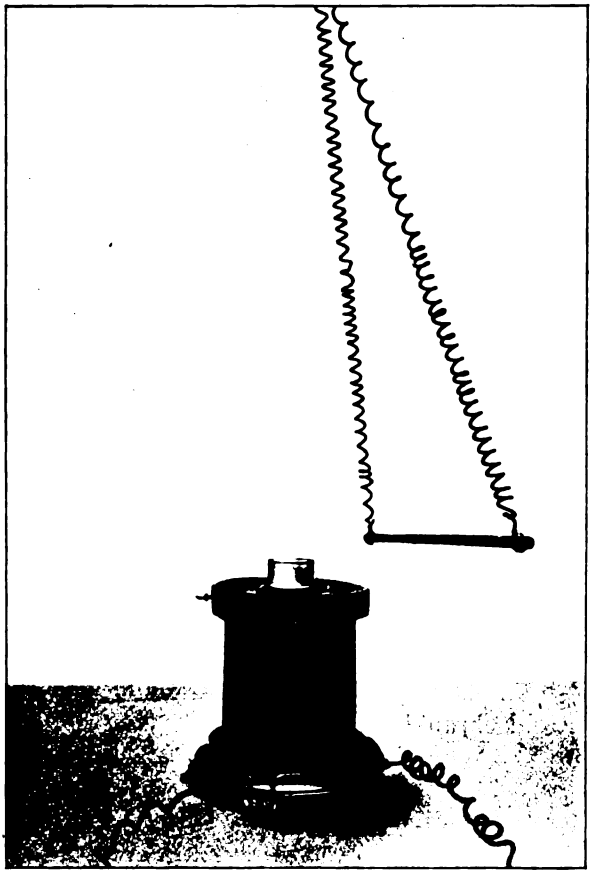


Fig. 50.

Dies hat sich Zerener zunutze gemacht.

Denselben Strom, der den Lichtbogen erzeugt, führt er in dicken Kupferwindungen um einen hufeisenförmig gestalteten Eisenkörper. Die Pole stehen unmittelbar vor dem Lichtbogen. Der Lichtbogen selbst tritt an die Stelle des stromführenden Leiters. Er wird durch die magnetische Kraft abgelenkt, nach außen gestoßen, und es bildet sich eine

Digitized by Google

Stichflamme. Ich will zunächst das Phänomen selbst zeigen, dann wollen wir eine Arbeit damit ausführen. (Fig. 51.)

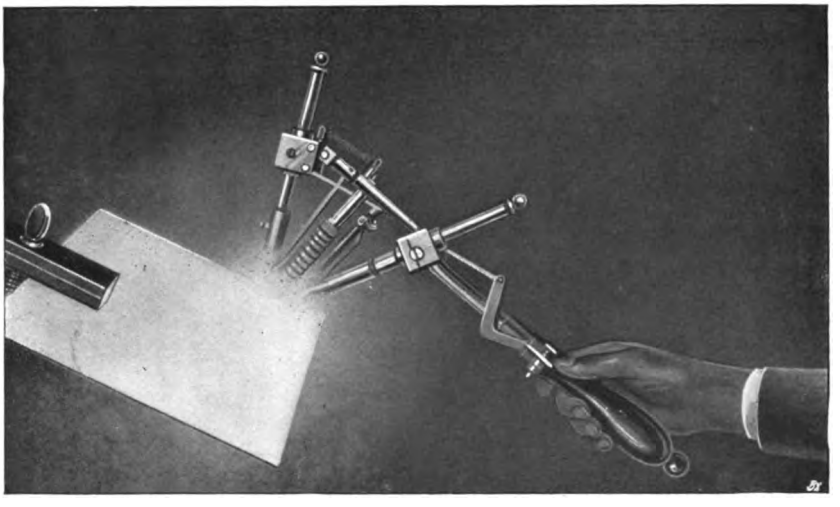


Fig. 51.

Sie sehen, wie sich die Stichflamme bildet. Der Bogen lodert heraus. Von der außerordentlich hohen Temperatur überzeugen wir uns, indem wir in ein Eisenblech ein Loch schmelzen — ein höchst willkommenes Werkzeug für alle „Geldschrankknacker".

Digitized by Google

4.

Ein Spaziergang in einem Sonnenstrahl.

Die letzten beiden Jahrzehnte des abgelaufenen Jahrhunderts sind für die Lehre von der Elektrizität und ihre Anwendung besonders ereignisreich gewesen. Neue Theorien haben die alten abgelöst und wichtige Anwendungen, wie die Röntgen-Photographie und die Funkentelegraphie, haben den praktischen Wert rein wissenschaftlicher Forschung von neuem in das hellste Licht gestellt.

Die Quelle, aus welcher die neue Anschauung hervorging, sind die Strahlen der Sonne, welche unsere Erde belebt und verschönt. Ihr danken wir die Fruchtbarkeit unserer Felder, den Glanz des Sommertages, die Purpurglut der Abendwolken und die Farbenpracht des Regenbogens.

Was ist der Regenbogen? Der Dichter nennt ihn nicht mit Unrecht „einen Strahl des Lichts, der sich in Tränen bricht", denn wir wissen, daß das Sonnenlicht, welches auf einen Wassertropfen fällt, sich in vielfarbige Strahlen zerlegt. Besonders schön zeigt uns dies Farbenspiel eine große Fontäne, auf deren niederwallende Schleier die Sonne ihre bunten Farben wirkt. Die Sonne steht uns heut leider nicht zur Verfügung, wir wählen eine ähnliche Lichtquelle — die elektrische Lampe. Bringen wir in den Weg der Strahlen eine mit Wasser gefüllte Glaskugel, eine prosaische Schusterglocke,

Digitized by Google

oder noch besser ein mit Flüssigkeit gefülltes prismatisches Glasgefäß, so breiten sich auf einer weißen Fläche die Farben des Regenbogens zu einem leuchtenden Bande, dem Spektrum, aus.

Young und Fresnel haben uns die Gesetze enthüllt, nach denen sich dieses Farbenspiel ordnet, sie führten zur Wellentheorie des Lichts. Ein Beispiel soll uns die Anschauung erläutern. Werfen wir einen Stein auf einen Wasserspiegel, so entstehen ringförmige Wellen, welche die Störung in wachsenden Kreisen verbreiten. Vor der elektrischen Lampe steht ein flaches, rundes, mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Eine Spiegelvorrichtung wirft uns das Bild der Oberfläche desselben auf den weißen Schirm. (Fig. 52.)

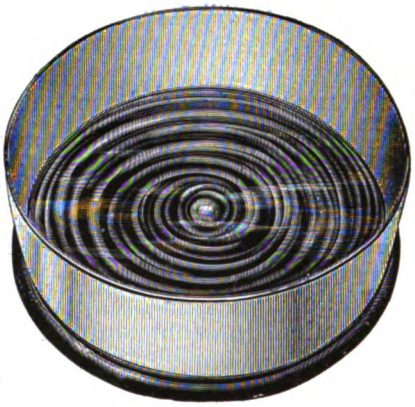


Fig. 52.

Tippen wir mit der Fingerspitze leise auf die Mitte des Quecksilberspiegels, so entstehen konzentrische Wellen, welche nach dem Rande des Gefäßes eilen und dort zurückgeworfen werden. Wir sehen ein Bild von sogenannten stehenden Wellen, bei denen die Wellenberge und Wellentäler an der gleichen Stelle entstehen. Ein lebhaftes Auf- und Niederschwanken des Quecksilberspiegels zeigt uns die sogenannten Bäuche der stehenden Welle; dazwischen liegen in konzentrischen Kreisen die sogenannten Knotenlinien, in denen das Quecksilber in Ruhe verharrt. Ein nicht so gesetzmäßiges aber noch reizvolleres Bild zeigt uns die Wellenbewegung auf hoher See.

Digitized by Google

Aus zahllosen Richtungen kreuzen sich die Wellenzüge. Hier gleichen sich die Bewegungen aus und glätten die Flut zu krystallenem Spiegel, dort vereinigen sie sich und zerstäuben am Wellenberg zu schneeigem Gischt — den weissen Rossen Neptuns.

Kehren wir zu dem einfacheren Bilde der stehenden Welle zurück, sie ist der Beobachtung zugänglicher. Jedes Quecksilberteilchen erfährt einen doppelten Antrieb in senk-

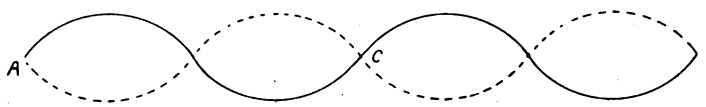


Fig. 53.

rechter Richtung von der hinlaufenden und von der zurücklaufenden Welle. Haben die auf- und niedertanzenden Kräfte an einer Stelle gleiche Richtung, so summieren sie sich, bei ungleicher Richtung vermindern sie sich. Einzelne Stellen heben sich dabei deutlich ab. Zunächst diejenigen, in welchen die Summation einen Höchstwert erreicht. Hier findet ein besonders lebhaftes Auf- und Niederschwanken des Quecksilberspiegels statt, es sind die Wellenbäuche. An anderen Stellen gleichen sich die Kräfte dauernd aus, der Quecksilberspiegel verharrt in Ruhe, wir erkennen die sogenannten Knotenlinien oder im vertikalen Querschnitt die Knotenpunkte.

Ich muß nun eine kleine Zeichnung (Fig. 53) zu Hilfe nehmen, um eine wichtige Beziehung zu erläutern. Die dicke Linie zeigt einen Querschnitt durch die hinlaufende Welle, die punktierte die zurücklaufende. Auf dem Wege von *A* bis *C* hat die Welle einen Berg und ein Tal vollendet, sie hat ihre eigene ganze Länge zurückgelegt. Die Entfernung zweier Knotenpunkte bestimmt also die halbe Wellenlänge. Es sei

Digitized by Google

nun möglich, die Anzahl der Schwingungen eines Bauches zu zählen, sie betrage beispielsweise 1000 in 1 Sekunde; die Länge von *A* bis *C* sei 1 m. Bei jeder vollen Schwingung nach oben und unten trägt also die Welle die Störung um 1 m im Quecksilber weiter, in 1 Sekunde bei 1000 Schwingungen also um 1000 m, dies nennt man die Fortpflanzungs- oder Wanderungsgeschwindigkeit der Welle. Verwandeln wir also eine Wellenbewegung in die stehende Form, so können wir durch Messung der Abstände ihrer Knoten oder Bäuche und durch Zählung der Schwingungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle ermitteln.

Die Lichttheorie erklärt nun die Wanderung des Lichts durch Wellenbewegung eines hypothetischen Stoffes von unendlicher Feinheit, der den Weltraum sowohl wie alle Räume zwischen den Molekülen der festen Körper ausfüllen soll, man nennt ihn den Weltäther. Ein leuchtender Punkt stört nach dieser Auffassung das umgebende Äthermeer mit rhythmisch erzitternder Bewegung, wie ein Steinwurf die stille Wasserfläche. In alle Richtungen des Raumes strahlen diese Wellen aus, und wenn die Netzhaut unseres Auges davon getroffen wird, so haben wir die Empfindung des Lichtes. Erstaunliche Wege haben diese Wellen durchwandert, wenn sie von der Sonne zu uns gelangen. Aus astronomischen Messungen hat man ihre Geschwindigkeit abgeleitet, sie beträgt 300 000 km in der Sekunde.

Aber nicht nur eine Wellenart sendet die Sonne aus, sondern eine unendliche Vielheit von Wellen, die zwar alle mit der gleichen Geschwindigkeit wandern, jedoch verschiedene Wellenlängen besitzen. Unser Auge ist ein so wunderbar gebautes Organ, daß es einzelne Wellenarten deutlich unterscheidet. Wir erkennen sie als Färbung, das ist aber nichts weiter als die Bezeichnung für eine bestimmte subjektive

Digitized by Google

Empfindung. Das Sonnenlicht ist ein Gemisch aus allen Farben des Regenbogens, wir machen sie einzeln sichtbar, wenn wir den Strahl durch ein mit bestimmten Flüssigkeiten gefülltes Glasgefäß fallen lassen. Die einzelnen Wellenarten werden dadurch abgelenkt von ihrer geradlinigen Wanderung, aber alle in verschiedenem Maße. Wir falten sie also gleichsam wie einen Fächer auseinander und werfen sie auf den weißen Schirm als farbiges Band.

Durch künstliche Mittel können wir einfarbiges Licht erzeugen. Bringen wir in den Weg der farbigen Strahlen z. B. ein rotes Glas, so können nur die roten Lichtwellen hindurchfluten, alle anderen werden vom Glase zurückgehalten. Wir filtrieren gleichsam die Wellen des Lichts. Es ist gelungen, die Wellenlängen der einfarbigen Lichtstrahlen zu messen. Sie sind von außerordentlicher Kleinheit. 800 Millionstel eines Millimeter beträgt die Wellenlänge im roten Licht, sie nimmt nach dem violetten Teil des Spektrums hin noch wesentlich ab, dort ist sie nur 400 Millionstel eines Millimeter. Aus der vorhin angestellten Betrachtung können wir nunmehr die Schwingungszahlen des Äthers berechnen, da wir die allen Wellen gemeinsame Wanderungsgeschwindigkeit, 300 000 km in 1 Sekunde, kennen. In dem roten Licht schwingen die Ätherteilchen 400 Billionen mal in 1 Sekunde. Ein Vergleich veranschaulicht uns diese ungeheure Zahl. Gibt eine Stimmgabel das zweigestrichene C, so macht sie 1000 Schwingungen in der Sekunde; sie würde 12 000 Jahre gebrauchen, um 400 Billionen auszuführen, die beim roten Licht sich in einer Sekunde, beim violetten sich in einer halben Sekunde vollziehen.

Es gibt für den Naturfreund kaum etwas Fesselnderes als das Studium des farbigen Lichts, hat es doch unseren größten Dichter Jahrzehnte lang mit seinem Zauber gebannt. Doch ihm, der den feinsten Regungen der Menschenseele

Digitized by Google

treffendsten Ausdruck verlieh, blieb es versagt, das Geheimnis dieser farbigen Schwingungen mit seinem Geist zu durchdringen. Wie würde er staunen, sähe er heute das entschleierte Bild im Lichte der neueren Forschung.

Aber nicht bei dem sichtbaren Spektrum will ich verweilen, unser heutiges Ziel sind die verborgenen Tiefen des unsichtbaren, welche sich erst in den letzten zwei Jahrzehnten dem Menschen erschlossen haben. Rechts und links von dem sichtbaren Teil des Spektrums sind Wirkungsgebiete des Lichts vorhanden, welche dem physischen Auge verborgen bleiben. Andere Mittel müssen herangezogen werden, wollen wir den leisen Wellenschlag dieser unendlich feinen Ätherschwingungen entdecken.

Jenseits des Violett sind es chemische Wirkungen, welche wir wahrnehmen; die photographische Platte läßt sie erkennen. Könnten wir die ganze Breite des Spektrums mit lichtempfindlichem Papier bedecken, wie es der Photograph zur Herstellung der Abzüge verwendet, so würden wir nach einiger Zeit die bekannte dunkle Tönung, welche das Licht hervorbringt, entstehen sehen. Während aber das rote Licht das Papier fast vollkommen unberührt läßt, färbt es dasselbe in immer dunkleren Tinten je weiter wir fortschreiten zum violetten Teil. Doch die tiefste Färbung erhalten wir erst in jenem dunklen Raum jenseits des Violett. Dies beweist, daß unser Prisma aus dem weißen Sonnenlicht neben den sichtbaren farbigen Lichtstrahlen auch noch andere, unsichtbare absondert, welche weiter abgelenkt werden, und welche die stärkste chemische Kraft besitzen. Wir können auch diese mit Fug und Recht als Lichtstrahlen bezeichnen. Aber diese unsichtbaren Strahlen haben auch noch andere Wirkungen als jene chemischen, durch welche das photographische Papier sich färbte.

Digitized by Google

Man hat Stoffe gefunden, welche die Eigenschaft besitzen, daß sie einen unsichtbaren Lichtstrahl von bestimmter Wellenlänge zurückwerfen mit anderer Wellenlänge. In dem Stoffe selbst findet also eine Änderung, eine Umsetzung derselben statt. Ist die reflektierte Wellenlänge nun eine solche, welche einem sichtbaren Lichtstrahl entspricht, so leuchtet der Stoff mit dessen Farbe. Hier ist ein Papierschirm mit Kristallen von Bariumplatincyanür bedeckt. In der Dunkelheit sehen wir ihn kaum, halte ich ihn jedoch in den ultravioletten Teil des Spektrums, so leuchtet er auf. Wunderbare Kräfte müssen in diesen winzigen Krystallen tätig sein, welche das leise Erzittern des Äthers in strengster Gesetzmäßigkeit wandeln. Könnte man die dunkeln Regungen mancher Menschenseele durch künstliche Mittel doch ebenso glücklich verwandeln!

Die kleinsten Wellenlängen dunkler Strahlen im ultravioletten Teil des Spektrums, welche man bisher mit Sicherheit nachgewiesen hat, betragen 100 Millionstel eines Millimeter. In weitere Tiefen ist die Forschung noch nicht gedrungen, doch haben neuere Untersuchungen über die Röntgenstrahlen die Vermutung erweckt, daß diese Strahlen in den entlegensten Teilen des Spektrums zu suchen sind. Zwischen ihnen und den bekannten Wellen des Spektrums liegt noch ein großes unbekanntes Gebiet, ein anderer dunkler Weltteil, dessen Erschließung reiche Ernte verspricht.

In diesem noch unbekannten Teile des Spektrums scheinen auch die vielen wilden Strahlen heimatsberechtigt zu sein, die in letzter Zeit so viel von sich reden machten: Das schwarze Licht Le Bons, die Magnetstrahlen und das Odlicht, die N-Strahlen und die Metallstrahlen. Wissenschaftliche Klarheit ist indes darüber nicht verbreitet, einzelne Wahrnehmungen haben sich als Täuschungen erwiesen.

Digitized by Google

Alle Strahlen im Ultraviolett entziehen sich der direkten Wahrnehmung durch das menschliche Auge. Wunderbarer Weise scheint es aber Tiere (Insekten) zu geben, deren Augen auch für diese Strahlen organisiert sind. So hat man eine merkwürdige Beobachtung an Fliegen gemacht. Sie suchen bekanntlich das Licht. Man nahm zwei luftdicht geschlossene Kasten, den einen aus Karton, den anderen aus Blei und setzte sie nebeneinander, nachdem man die Grenzwände mit einer Öffnung versehen hatte. In den Bleikasten setzte man Fliegen. Nach längerer Behandlung der Kästen mit Röntgenstrahlen, welche bekanntlich den Karton mit Leichtigkeit, das Blei aber überhaupt nicht durchdringen, fand man die sämtlichen Fliegen in der Kartonabteilung versammelt. Sie hatten sich den Genuß verschafft, in den Röntgenstrahlen spazieren zu gehen, mußten sie also doch wahrgenommen haben.

Intensive Röntgenstrahlen erzeugt man bekanntlich, indem man hochgespannten Strom durch eine evakuierte Glasröhre hindurchführt. Man bezeichnet bei einer solchen Glasröhre ebenso wie bei einer elektrolytischen Zelle die Eintrittsstelle des Stromes als Anode, die Austrittsstelle als Kathode. Wenn wir den Strom hindurchführen, sehen wir, daß die Röhre ein grünliches Licht ausstrahlt. Diese Wirkungen gehen von der Kathode aus, es sind die sogenannten Kathodenstrahlen. Wo diese die Glaswand treffen, erzeugen sie grünliches Licht.

Zu gleicher Zeit wird die getroffene Glaswand zum Ausgangspunkt einer neuen Strahlung, der Röntgenstrahlung. Es werden feine mit Elektrizität geladene Partikelchen von der Kathode fortgerissen und gegen die Glaswand geschleudert; beim Auftreffen findet dann eine Entladung statt, und durch diese werden die Röntgenstrahlen hervorgerufen.

Man hat nun die Wirkung dadurch verstärkt, daß man die Kathodenstrahlung nicht auf die Glaswand auffallen läßt,

Digitized by Google

sondern auf ein kleines Platinblech, welches Sie in der Mitte der Röhre wahrnehmen (Fig. 54). Dieses Platinblech wird jetzt der Ausgangspunkt der Röntgenstrahlung; letztere tritt durch die Glaswand hindurch nach außen und hat, wie Ihnen wohl bekannt ist, die Fähigkeit, auf die photographische Platte zu wirken, ebenso wie auf einen Leuchtschirm von Bariumplatin-

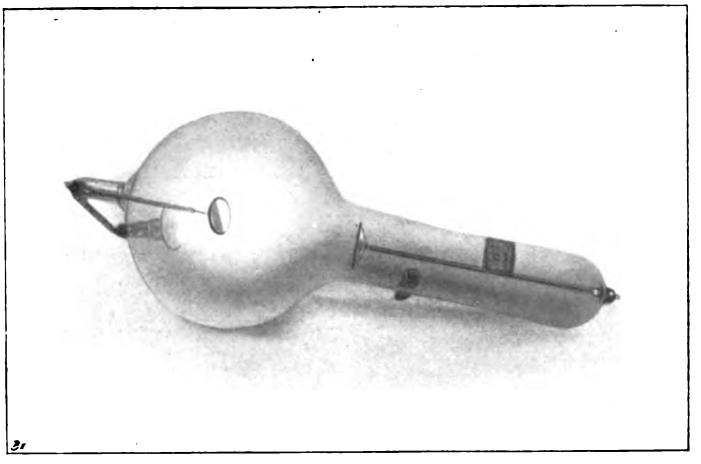


Fig. 54.

cyanür. Die Röntgenstrahlen haben aber die Eigenschaft, daß sie die verschiedenen Körper in verschiedener Weise durchdringen oder, richtiger gesagt, von den verschiedenen Körpern in verschiedenem Maße verschluckt werden. So gehen sie fast ohne jeden Verlust durch die Weichteile des menschlichen Körpers, weniger leicht durch die Knochen, und wir können, wenn wir einen menschlichen Körper in den Weg der Röntgenstrahlen bringen, auf einem davor befindlichen Bariumplatincyanür-Schirm ein deutliches Bild des

Digitized by Google

Knochenbaues erkennen. Die Chirurgie hat von diesem neuen Mittel bereits in ausgedehnter Weise Gebrauch gemacht.

Ich habe mich mit dieser Sache beschäftigt aus einem anderen Grunde. Ich wollte versuchen, ob nicht Stoffe, die in der Technik eine Rolle spielen, zu durchdringen sind; in erster Linie das Eisen. Auch durch Eisen gehen die Röntgenstrahlen hindurch, allerdings muß man außerordentlich hoch evakuierte Röhren anwenden, sogenannte harte Röhren, und es ist die Wirkung auch dann nur eine begrenzte. Hier habe ich z. B. die Photographie von einer eisernen Düse, deren Wandstärke 15 mm beträgt. Sie können deutlich den inneren Raum der Düse erkennen. (Fig. 55.) Hier ist eine Säbelscheide mit eingeschlossenem Säbel (Fig. 56) und hier ein Gewehrlauf mit darin befindlicher Patrone. (Fig. 57.) Das Verfahren hätte Wert, wenn es gelänge, Fehler im Guß z. B. zu erkennen. Daß das unter gewissen günstigen Bedingungen möglich ist, zeigt dieses Bild einer eisernen Eisenbahnschiene (Fig. 58), welche im Innern einen Fehler hat. Sie werden hier deutlich diese feinen Risse erkennen. Es ist ein Walzfehler. Aber

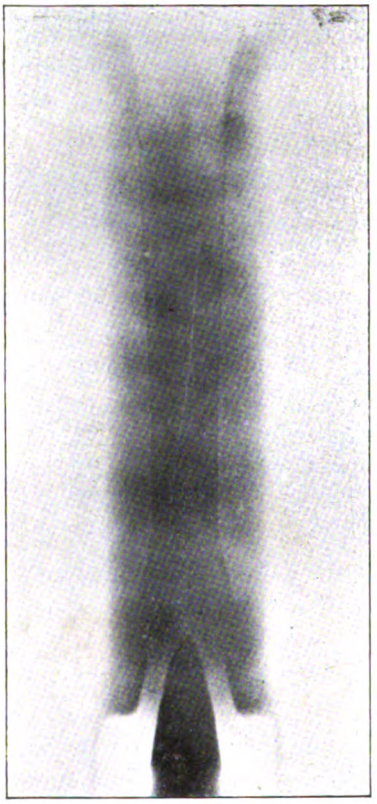


Fig. 55.

Digitized by Google

technische Brauchbarkeit besitzt das Verfahren trotz alledem noch nicht, denn ich habe, um das Bild zu erhalten, von der Schiene erst einen Schnitt machen müssen. Wollte ich die volle Schiene nehmen, so überdecken sich die einzelnen Fehler

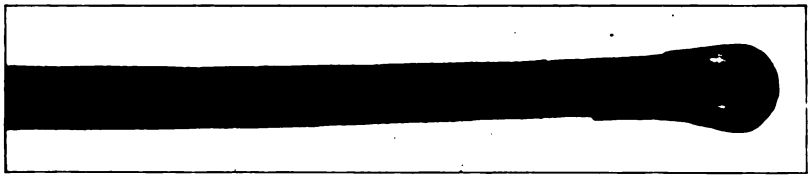


Fig. 56.

mit den Eisenteilen, und es ist nicht möglich, Dimensionen wahrzunehmen. Das schöne Ziel, Fehler in fertigen Wellen oder in Kanonenrohren nachzuweisen, hat sich bisher nicht erreichen lassen.

In wie umfangreicher Weise man die Röntgenstrahlen für chirurgische Zwecke benutzt, ist bekannt.

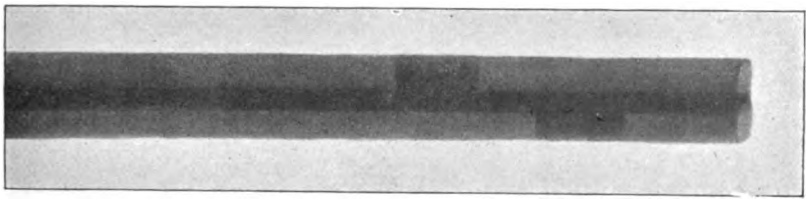


Fig. 57.

Hier kann ich Ihnen ein interessantes Bild zeigen, den Kopf von Li-Hung-Tschang, am 26. Juli 1896 aufgenommen – das erste Schädelbild. Der Vizekönig Li-Hung-Tschang hatte bekanntlich bei einem Attentat eine Kugel in den Schädel bekommen. Er litt große Schmerzen und die Ärzte erklärten

Digitized by Google

eine Operation für unmöglich, da sie mit der Sonde die Kugel nicht fanden. Im Jahre 1896 hatte ich Gelegenheit, ihn kennen

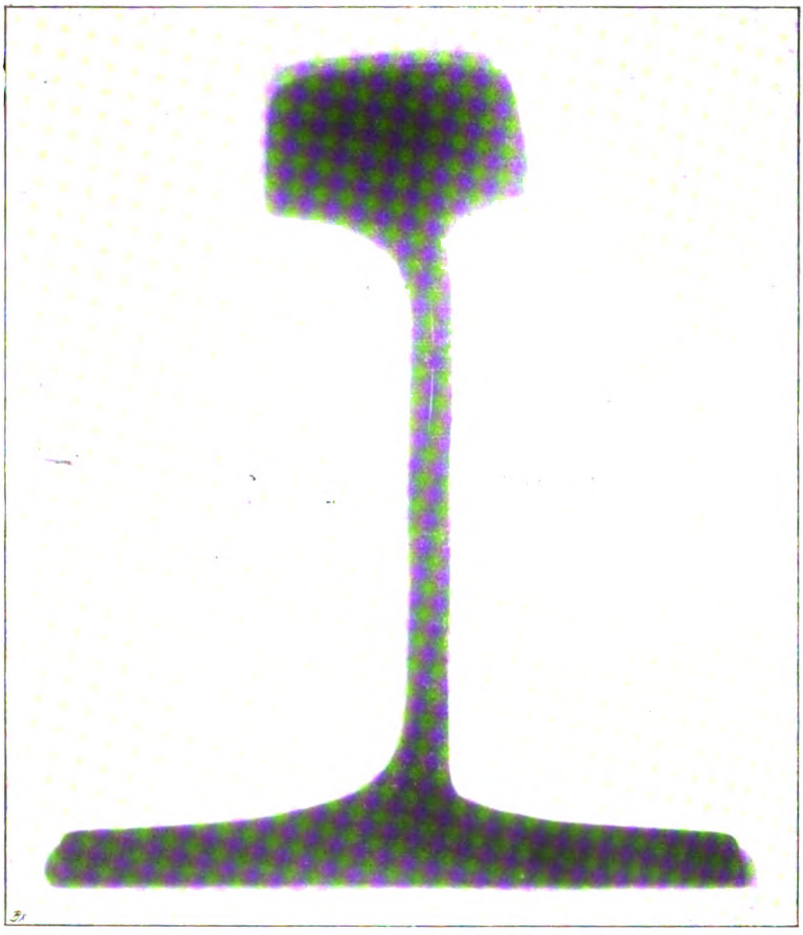


Fig. 58.

zu lernen. Er fragte mich, ob durch Röntgenstrahlen die Kugel nachzuweisen wäre. Ich stellte es in Aussicht, und er

Digitized by Google

kam hierher zur Aufnahme. (Fig. 59.) Das Bild zeigt deutlich die Kugel und den Schußkanal; man versteht jetzt, weshalb die Ärzte die Kugel nicht finden konnten. Sie ist in eine

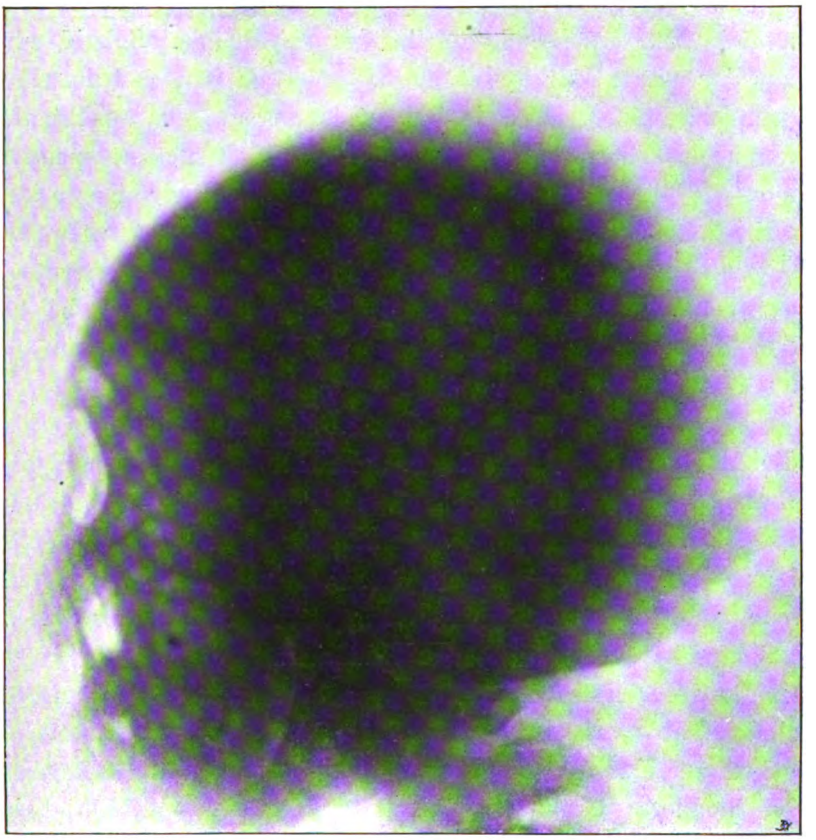


Fig. 59.

sackartige Aushöhlung des Schädelknochens gerutscht. Mit welcher stoischen Ruhe sich der bezopfte Chinese dieser Prozedur unterwarf, war staunenswert. Glücklicherweise ist

Digitized by Google

nichts passiert. Heute würde ich das Experiment nicht wiederholen, denn man hat seitdem gefunden, daß intensive Röntgenstrahlung unter Umständen recht nachteilige Folgen haben kann.

Kehren wir aus dem dunklen Raum des Ultraviolett zurück zum leuchtenden Teile des Spektrums. Sobald wir uns der roten Strahlung nähern, bemerken wir, daß dieselbe noch eine andere physiologische Wirkung auf uns ausübt als durch das Auge Die rote Glut eines Kaminfeuers spendet nur wenig Licht, wie angenehm empfinden wir aber seine Nähe an einem kühlen Herbstabend. Es ist strahlende Wärme, die auf uns einwirkt. Alle Strahlen des Spektrums, deren Wellenlänge nahe an 800 Millionstel Millimeter, haben die Eigenschaft, Wärmewirkungen hervorzurufen, wenn sie auf einen festen Körper fallen.

Die Wärmestrahlung gehorcht denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlung. Die konzentrierende Wärmewirkung des Brennglases haben wir, nicht ohne schmerzhafte Blasen, schon in der Jugend kennen gelernt, sie entspricht der Lichtkonzentration durch optische Gläser. Auch die Reflexion an spiegelnden Flächen können wir für Wärmestrahlung erweisen. Bekannt ist die weittragende Lichtwirkung der Scheinwerfer an Bord der Kriegsschiffe. Die dabei benutzten Hohlspiegel sind nicht nach einem Kreise, sondern nach einer Parabel gekrümmt, das ist eine Linie, wie sie eine aus einem Mörser geschleuderte Bombe in der Luft beschreibt. Innerhalb eines solchen Hohlspiegels ist ein Punkt vorhanden, welcher die Eigenschaft besitzt, daß alle Lichtstrahlen, welche von ihm ausgehend auf den gekrümmten Spiegel fallen, in paralleler Richtung als ein konzentriertes Strahlenbündel mit großer Lichtstärke reflektiert werden. Beim Scheinwerfer ist in diesen sogenannten Brennpunkt eine elektrische Bogenlampe

Digitized by Google

gebracht. In einiger Entfernung habe ich hier einen zweiten parabolischen Spiegel dem Scheinwerfer gegenüber gestellt. Die parallel auffallenden Lichtstrahlen werden hier in umgekehrter Richtung im Brennpunkt wieder vereinigt. Aber auch die Wärmestrahlung konzentriert sich dort, was wir daran erkennen, daß sich in diesem Brennpunkt ein Streichholz entzündet. (Fig. 60.)

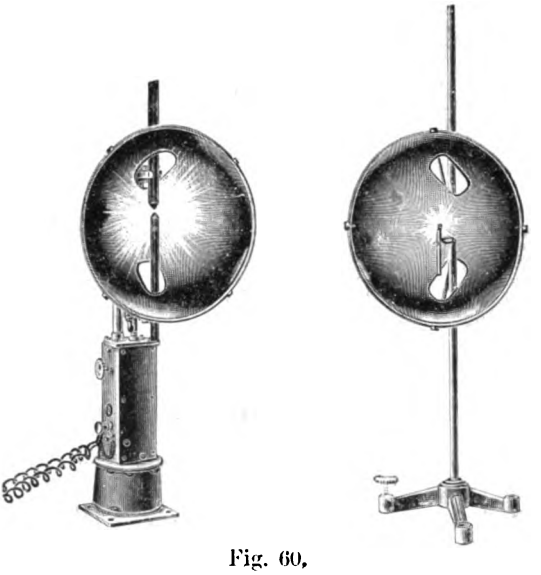


Fig. 60.

Diese Wärmewirkung ist nun aber nicht etwa nur eine Begleiterscheinung des sichtbaren Lichts. Wir können sie auch in den dunklen Strahlen jenseits des Rot nachweisen. Eines empfindlichen Thermometers kann ich mich dazu nicht bedienen, das wäre nur in der Nähe zu erkennen. Ich wähle ein anderes Mittel, welches die leisesten Wärmeschwingungen weithin sichtbar macht. Es ist ein Apparat, welcher mit Hilfe der Wärmestrahlen eine elektrische Erregung hervorruft. Werden zwei verschiedene Metalle in innige Berührung gebracht, etwa durch Lötung, so entsteht ein sogenanntes Thermoelement. Eine auf die Löthstelle gerichtete Wärmestrahlung erzeugt dort eine elektrische Spannung und wenn die beiden Metalle miteinander leitend verbunden werden, so entsteht in dem geschlossenen Drahtkreise ein elektrischer

Digitized by Google

Strom. Hier steht eine solche Einrichtung (Fig. 61), welche zum Messen von Temperaturen dient. Aus Platin und Iridium ist eine kleine Kugel zusammengeschweißt und durch Drähte

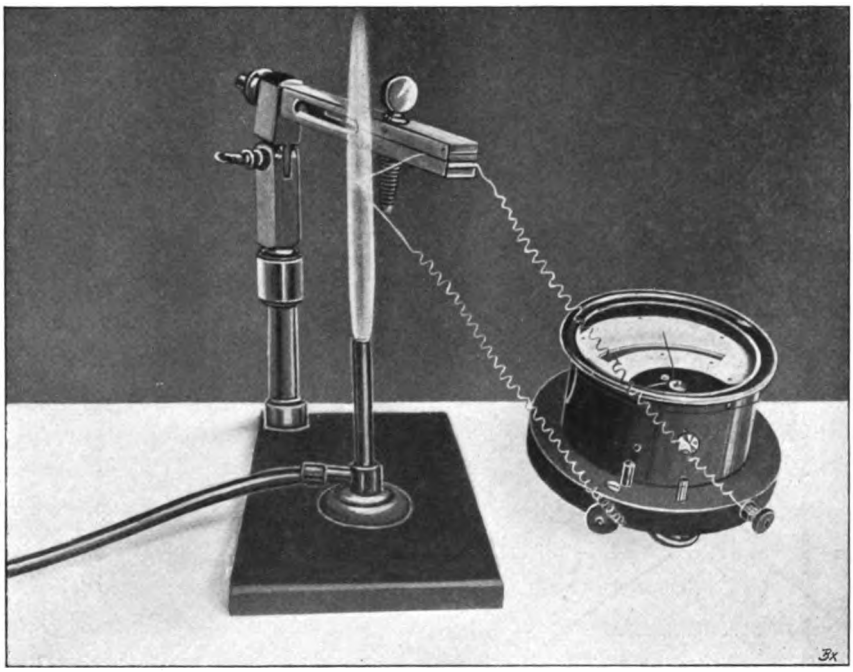


Fig. 61.

mit einem Galvanometer, d. i. ein Instrument zum Messen des Stromes, verbunden. Halte ich die kleine Kugel in die Flamme eines Bunsenbrenners, so entsteht ein elektrischer Strom, und die Nadel des Galvanometers wird abgelenkt. Die Skala ist in Celsiusgrade geteilt, ich lese 1800° ab. Mit derselben Leichtigkeit lassen sich auch außerordentlich kleine Temperaturerhöhungen messen, ich brauche nur ein wesentlich empfindlicheres Galvanometer zu Hilfe zu nehmen. Auf dem

Digitized by Google

Wandkonsol steht ein solches. Die Drehung der Magnetnadel mache ich durch einen Lichtstrahl sichtbar. Von einer vor

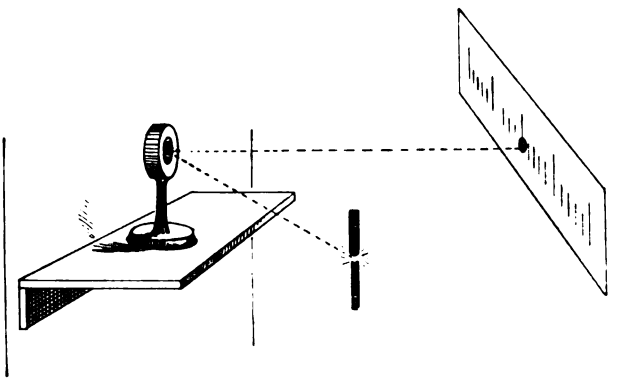


Fig. 62.

dem Instrument stehenden elektrischen Lampe fällt derselbe auf einen kleinen Spiegel (Fig. 62), der an der Magnetnadel befestigt ist; er wird reflektiert und auf die gegenüberliegende Wand des Saales geworfen. Die geringste Drehung der Magnetnadel und damit des Spiegels ruft ein Wandern des Lichtflecks hervor. Halte ich nun das Thermoelement in den ultraroten Teil des Spektrums, so zeigt die Wanderung des Lichtstrahls an, daß dort unsichtbare Strahlen eine Wärmewirkung ausgeübt haben.

Fig. 63.

Noch einfacher kann ich die unsichtbare Wärmestrahlung mit einem kleinen Apparate nachweisen, der in der Mitte der siebziger Jahre die Spiritisten in Aufregung versetzte. Es ist das Radiometer von Crookes. (Fig. 63.) Vier horizontale Glimmerflügel sind auf einer feinen Spitze

Digitized by Google

drehbar aufgehängt in einer luftentleerten Glasglocke; die eine Seite der Glimmerflügel ist geschwärzt. Lasse ich Licht darauffallen, so setzt sich die kleine Mühle in Bewegung, ebenso schon wenn ich die Hand der Glocke nähere. Man glaubte damals mit überirdischen Kräften zu tun zu haben. Heut ist das Geheimnis enthüllt: Es sind lediglich die feinen Ätherwellen der Wärmestrahlen, welche auf die etwas geneigten berußten Flächen stärkere Kräfte ausüben als auf die unberußten. Das wird sofort klar, wenn wir das Instrument in die Strahlen des Spektrums bringen. Die violetten und grünen Strahlen üben keinen Einfluß aus, weil sie arm an Wärmewirkung sind. Lebhaft dreht sich die Mühle in der roten Strahlung, am allerschnellsten aber, wenn die ganz dunklen ultraroten Strahlen darauf fallen.

Was aber liegt nun jenseits dieser Grenze? Gibt es noch längere Wellen im Äthermeer, die mit Lichtgeschwindigkeit ihre Wirkungen durch den Raum tragen und woran erkennen wir sie? Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat eine Antwort auf diese Frage erteilt. Wir wissen heut, daß jenes weite Reich, welches sich jenseits der Wärmewellen bis in die Unendlichkeit ausdehnt, die Welt der elektrischen Erscheinungen ist.

Rufen wir irgend eine elektrische Erschütterung hervor, so wird das uns umgebende Äthermeer dadurch genau so in Wellenbewegung versetzt, wie durch einen leuchtenden Punkt. Nur in der Größe der Wellenlänge besteht der Unterschied. Während die Lichtwellen von kaum faßbarer Kleinheit sind, haben die elektrischen Wellen des Äthers ganz respektable Längen. Wir können sie erzeugen in Dimensionen von wenigen Centimetern bis zu tausenden von Kilometern. Sie befolgen aber alle die gleichen Gesetze der Fortpflanzung und Ausbreitung wie die Lichtwellen; sie wandern mit einer Ge-

Digitized by Google

schwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde. Wenn die dunkle Gewitterwolke sich in grellen Blitzen entladet, so ist es nicht allein das blendende Licht und die gewaltige Luft-erschütterung, der Donner, die unsere Sinne erregen. Auch in elektrische Mitleidenschaft wird unser Körper gezogen, elektrische Schwingungen durchzucken uns und sensitive Na-

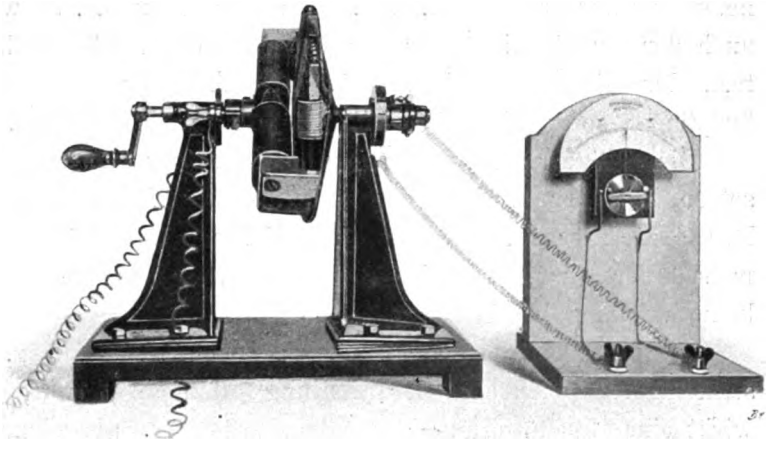


Fig. 64.

turen verspüren den Blitz, auch wenn sie ihn weder sehen noch hören.

Es sind verhältnismäßig schnelle Schwingungen, die der Blitz hervorruft, Wellen von wenigen hundert Metern Länge. Wir können aber auch elektrische Wellen von einigen tausend Kilometern Länge erzeugen und ich will ihre Schwingungen sichtbar machen. An diesem Apparat drehe ich einen Magnet mit übergreifenden Polen um einen Ring, der dicht mit Draht bewickelt ist. (Fig. 64.) Dadurch entstehen elektrische Ströme, die bei jeder Umdrehung einmal ihre Richtung wechseln. Wir

Digitized by Google

nehmen den Richtungswechsel an dem Zeiger eines Meßinstrumentes wahr, welcher der Schnelligkeit der Drehung entsprechend hin- und herpendelt. Man nennt einen solchen Strom einen Wechselstrom, da er den Draht in stets wechselnder Richtung durchzuckt, wir bringen also den Strom in schwingende Bewegung. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde nennt man seine Frequenz. Drehe ich den Magneten mit der Frequenz 1, d. h. einmal pro Sekunde, so wird auch der umgebende Äther nur einmal pro Sekunde erschüttert. Da die Ätherwelle sich in 1 Sekunde um 300 000 km fortpflanzt, so ist also die Wellenlänge genau 300 000 km.

Diese Eigenschaft, den Äther in Wellenbewegung zu versetzen, hat aber nur der schwingende oder Wechselstrom. Der Gleichstrom, welcher seine Richtung und Stärke niemals ändert, hat diese Eigenschaft nicht, er kann also auch keine Wirkung in die Ferne tragen.

Starke Erschütterung des Gleichstroms, wenn ich z. B. seinen Fortgang in einer Drahtleitung plötzlich hemme, bewirkt eine Erschütterung des Äthers, die sich als einzelne Welle durch den Raum verbreitet. An jener Wand der Saales hängt ein zum Kreise gebogener Draht; ich will einen Gleichstrom hindurchschicken und diesen dann plötzlich unterbrechen. (Fig. 65.) Die dadurch entstehende Ätherwelle trifft an der gegenüberliegenden Saalwand auf einen ähnlichen Drahtkreis, der aber keine Stromquelle enthält. Durch das Auftreffen der Ätherwelle wird indessen ein kurzer Stromstoß in dem Drahte hervorgerufen, den uns das Galvanometer auf dem Wandkonsol durch ein Wandern des Lichtflecks anzeigt. Meilenweit kann man durch solche Einrichtungen Signale durch den Raum übertragen, wie Sir William Preece, der erste Erfinder erfolgreicher und praktisch verwendeter drahtloser Telegraphie gezeigt hat. Durch die spätere Funken-

Digitized by Google

telegraphie Marconis wurde die Übertragungsweite allerdings verhundertfacht.

Wir wollen jetzt rythmisch verlaufende kontinuirliche Stromschwingungen erzeugen, deren Frequenz den von dem menschlichen Ohr wahrnehmbaren Schallschwingungen der

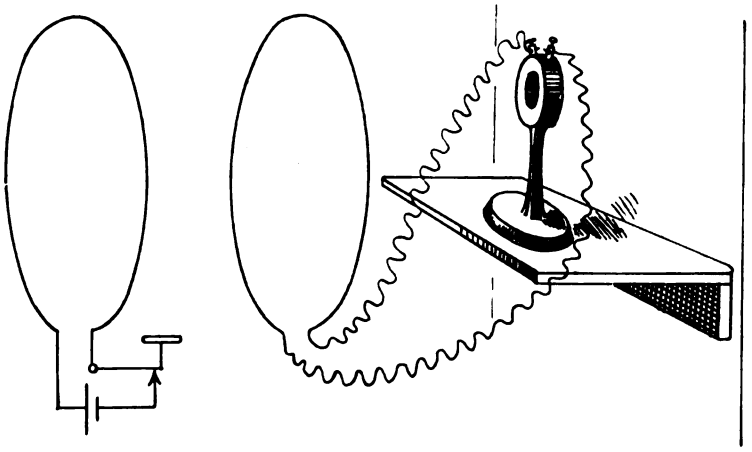


Fig. 65.

Luft entspricht. Mit Hilfe eines Telephons machen wir dann diese Schwingungen hörbar. Vor Ihnen steht das Poulsensche Telegraphon, eine interessante Abänderung des Edison'schen Phonographen.

Über eine drehbare Walze ist in vielen spiralförmigen Windungen ein Stahldraht gewickelt. Denselben umgreift wie eine Klaue mit seinen Polen ein kleiner Elektromagnet von Hufeisenform. (Fig. 66.) Die erregende Drahtwicklung dieses Magneten wird in Verbindung gesetzt mit dem Ihnen wohlbekannten Mikrophon, in welches Sie sprechen, wenn Sie die Fernsprechzentrale angeklingelt haben. Die mechanischen Schwingungen der Schallplatte werden dadurch in elektrische

Digitized by Google

Schwingungen umgesetzt, die an dem Leitungsdraht entlang laufen und die eiserne Schallplatte, welche die Telephonistin am Ohr trägt, in genau gleichartige mechanische Schwingungen versetzen. Hier ist es der spiralförmige Stahldraht, der die Botschaft aufnimmt. Die Pole des kleinen vorher erwähnten Elektromagneten umgreifen den Stahldraht, wie die

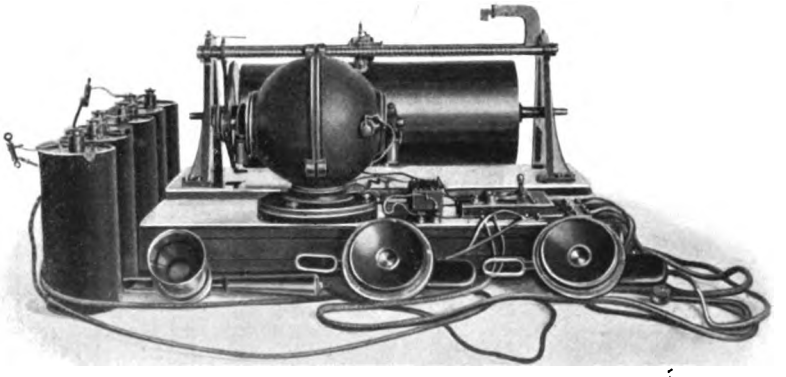


Fig. 66.

Hörtelephone den Kopf der Telephonistin. Durch den schwingenden Mikrophonstrom wird nun der Elektromagnet so erregt, daß Nord- und Südpol unaufhörlich wechseln. Der zwischen den Magnetklauen sich beim Drehen der Walze verschiebende Stahldraht nimmt gehorsam die wechselnde Polarität an und es bilden sich im Stahldraht unzählige kleine Quermagnete, die ihren Magnetismus lange Zeit in unverminderter Stärke behalten. Ein Gespräch, ein Gesang wird also gewissermaßen magnetisch auf dem Stahldraht deponiert und fixiert. Ist der ganze Stahldraht der Walze auf diese Weise magnetisch beschrieben, so kann jedermann und beliebig oft

Digitized by Google

das Aufgeschriebene abhören. Er vertauscht das Mikrophon mit einem Hörtelephon und dreht die Walze im gleichen Tempo wie vorher. Der deponierte Magnetismus erzeugt jetzt durch die ihn umgreifende Klaue rückwärts Stromschwingungen in den Windungen des Elektromagneten, die an der Schallplatte des Hörtelephons sich in Töne umsetzen. Der Apparat ist nicht sehr lautstark, das Trompetensolo, welches ich habe aufschreiben lassen, ist nur hörbar, wenn man das Telephon dicht ans Ohr hält. Verfehlen Sie aber nicht, sich von der wunderbaren Wirkung zu überzeugen. Die schnarrenden Töne des Phonographen, die nur einen höchst zweifelhaften Kunstgenuß darbieten, fehlen hier völlig. Die Töne der Musik sind auf dem glatten Stahldraht gleichsam magnetisch festgefroren.

Bei diesem Versuche bedienten wir uns zur Fortpflanzung der elektrischen Schwingungen einer metallischen Leitung. Wir übertrugen den Schall gleichsam durch ein elektrisches Sprachrohr, denn als solches können wir die Leitung auffassen. Erinnern wir uns aber nun, daß die elektrischen Schwingungen auch im Spektrum vorhanden sind und daß sich die Ätherwellen des Lichts frei durch den Raum fortpflanzen, so liegt die Hoffnung nicht allzu fern, auch die Wirkungen elektrischer Schwingungen ohne das Hilfsmittel eines verbindenden Drahtes zu übertragen.

Und in der Tat gelingt dies. Im Maschinensaal des Laboratoriums erzeugen wir einen starken elektrischen Wechselstrom durch eine Maschine, die ganz ähnlich eingerichtet ist wie das hier auf dem Tische stehende Modell, mit dem wir die langsamen elektrischen Schwingungen hervorriefen. Unsere große Maschine liefert uns 100 Schwingungen in der Sekunde, d. i. etwa $^1/_6$ bis $^1/_{10}$ der Frequenz, mit der wir vorhin die Schallwellen erzeugten. Wir führen sie durch eine Draht-

Digitized by Google

spule, die auf einen eisernen Kern gewickelt, hier vor Ihnen steht. Derselbe wird dadurch magnetisiert, er gerät in magnetische Schwingungen, d. h. er wechselt 100 mal in der Sekunde seine Polarität. Stülpe ich darüber eine dünne Membran aus weichem Eisen, so folgt dieselbe als ein gehorsamer Diener den magnetischen Schwingungen, wie der kleine Blechschwan, den wir als Kinder mit dem Magneten in der Waschschüssel hin- und herführten. Die auf- und niedergehende Bewegung der eisernen Membran erschüttert die Luft und erzeugt einen brummenden Ton, welcher genau 100 Schwingungen in der Sekunde entspricht.

Nun will ich zeigen, daß die elektrischen Schwingungen sich durch den Raum ohne verbindenden Draht auf eine zweite Drahtspule übertragen, die ich frei in der Hand halte. Auch diese wird jetzt von elektrischen Schwingungen erfüllt; ich mache sie erkennbar durch eine kleine Glühlampe, die mit den Enden der Spulenwicklung verbunden ist. (Fig. 67.) Könnte ich die Wirkung beliebig steigern, so würde die Lampe auch noch in größeren Entfernungen leuchten. Das wäre eine ideale Lichterzeugung: in einer Zentralanlage würden Riesenspulen in elektrische Schwingungen versetzt und jeder trüge ein Lämpchen mit sich herum. So könnte jeder sein Licht leuchten lassen, wo und wann es ihm beliebt. Leider geht das aber nicht, denn die Wirkungen der langsamen elektrischen Schwingungen sind nicht sehr weittragend, nur in der Nähe der Zentrale können wir, wie der Dichter sagt, „prunken mit erborgtem Licht".

Bleiben wir aber in der Nähe, so können wir nicht bloß Licht, sondern auch Wärme erzeugen, und zwar eine ganz ansehnliche. Hier diesen dicken Kupferring kann ich bis zur hellen Rotglut erhitzen, wenn ich ihn frei in der Luft darüber halte. (Fig. 68.) Wir müssen nur ein Weilchen warten.

Digitized by Google

Auch direkte mechanische Wirkungen gehen von unserer Spule aus. Ich lege eine Drahtschlinge darüber, deren Enden zu einem Kontakt führen, den ich in der Hand halte. (Fig. 69.)

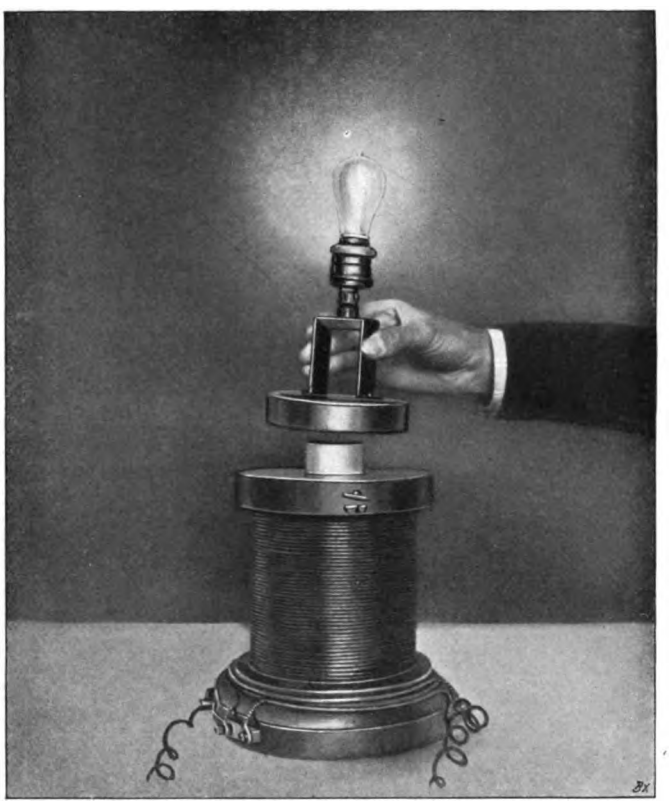


Fig. 67.

Sobald ich schließe, macht die Schlinge einen Freudensprung. Eine hohle Metallkugel wird über der Spule in Schwebe gehalten unter Überwindung der Schwerkraft. Sie tanzt gewissermaßen auf den von der Spule ausgehenden elektrischen

Digitized by Google

Wellen wie eine Glaskugel auf dem Fontänenstrahl. (Fig. 70.) Schirme ich die elektrischen Wellen durch eine Metallscheibe ab, so wird die Kugel von den Strahlen einseitig getroffen

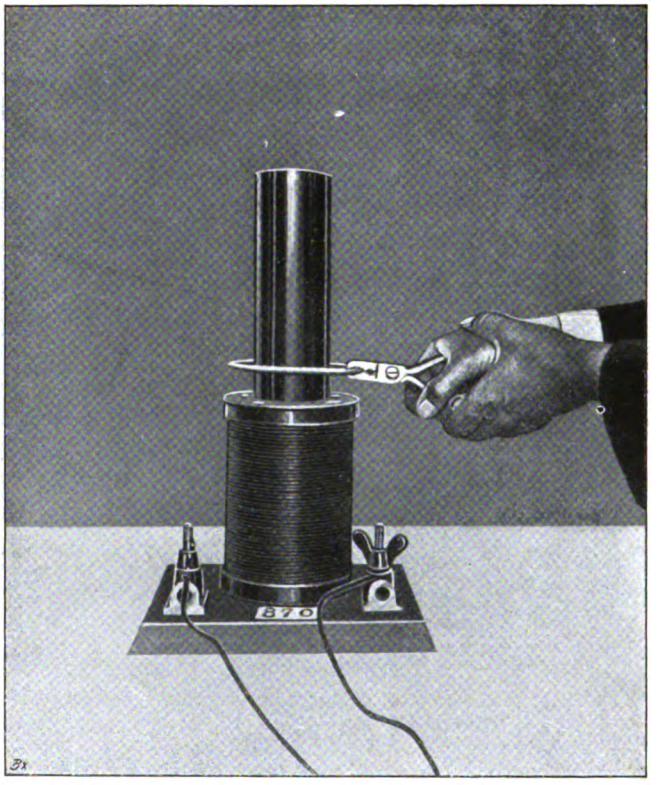


Fig. 68.

und dreht sich in der Luft. (Fig. 71.) Endlich soll uns die Spule noch einen Salto mortale zeigen. Ich lege einen Metallring darüber und schließe den Stromkreis. (Fig. 72). Wie hoch springt er wohl? Bis an die Decke des Saales!

Digitized by Google

Es sind Wirkungen der elektrischen Schwingungen, die wir gesehen haben. Sie waren aber nicht allzu weittragend, wir mußten in der Nähe der Primärstation bleiben, um sie nachzuweisen. Das liegt an der Länge der Wellen, die wir erzeugten, sie betrug im vorliegenden Fall 3000 km, hatten wir hier einen Wellenberg, so war der nächste etwa in Kamerun oder am Nordpol. Welch ein Unterschied gegen die Wellen des sichtbaren Lichts, von denen rund 600 Millionen auf 1 mm gehen. Und dennoch erreicht uns die Lichtwirkung selbst aus der unermeßlichen Ferne des Sirius. Wir schöpfen daraus die Hoffnung, auch die Wirkung elektrischer Wellen in größere Ferne zu tragen, wenn wir sie nur kürzer herstellen könnten!

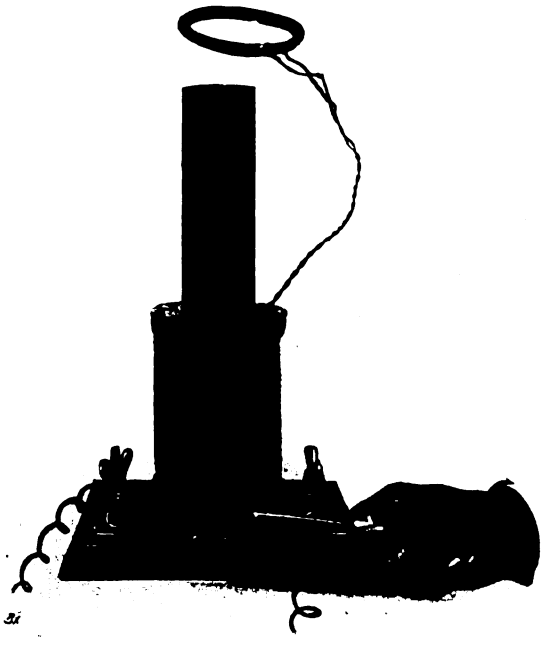


Fig. 69.

Künstliche Blitze, welche wir erzeugen, geben uns einen Fingerzeig. Die Erschütterungen des Äthers erfolgen dabei so schnell, die Wellenlängen sind so kurz, nur wenige Meter,

Digitized by Google

daß wir sie in den Räumen des Laboratoriums messen können. Es ist die Großtat eines deutschen Gelehrten, Heinrich Hertz, dem dies zuerst gelang.

Die Maschine, mit welcher wir so schnelle elektrische Schwingungen hervorrufen, brauchten wir nicht zu erfinden.

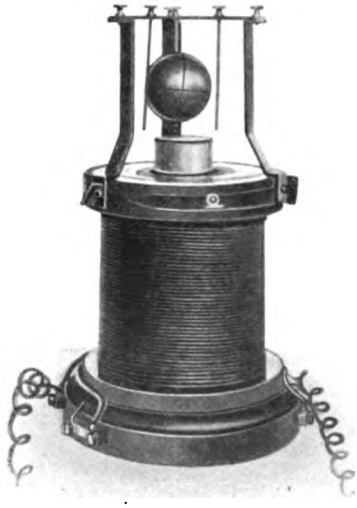


Fig. 70.

Fig. 71.

Die Natur stellt sie uns zur Verfügung in dem elektrischen Funken. Wenn wir die beiden ungleichnamigen Elektrizitäten in Spannung versetzen, so haben sie das Bestreben, sich in stürmischer Umarmung zu vereinigen. In feuriger Glut mit Blitz und Knall bricht die elementare Leidenschaft sich Bahn und zieht gleichsam wie ein vulkanischer Ausbruch weite Kreise in Mitleidenschaft. Aber wie eine starke Gemütsbewegung im menschlichen Herzen, so zittert auch hier die elektrische Erregung im Funken nach in der Form von schwingenden Strömen mit abnehmender Intensität. Diese

Digitized by Google

pendeln mit einer erstaunlichen Frequenz, Millionen Mal in einer Sekunde. Dem Auge sind diese schnellen Schwingungen nicht direkt wahrnehmbar, wir sehen nur einen einzigen leuchtenden Funken.

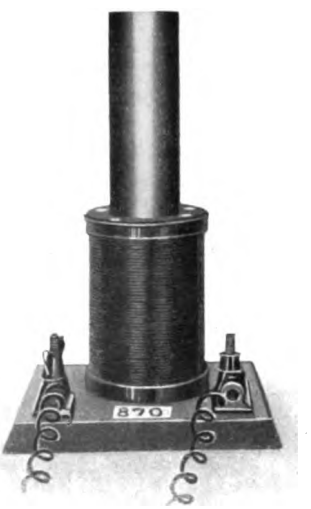


Fig. 72.

Von dem wirklichen Vorhandensein elektrischer Schwingungen können wir uns aber überzeugen, wenn wir den Funken durch eine berußte Pappscheibe schlagen lassen, welche mit großer Geschwindigkeit rotiert. Die einmalige Funkenentladung durchbohrt die Scheibe in mehreren nebeneinanderliegenden Löchern. (Fig. 73.) Aus der Geschwindigkeit der Scheibe und dem Abstand der Durchbohrungen können wir die Entladungsfrequenz berechnen, sie beträgt im vorliegenden Experiment rund 1 Million in der Sekunde. Wir messen damit gleichsam den Herzschlag des Funkens.

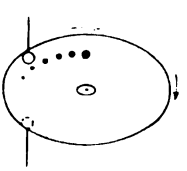


Fig. 73.

Wie jede vulkanische Eruption ihre Wellen schlägt, so wird auch von jeder elektrischen Vibration das Äthermeer in Wellenbewegung versetzt, welche die Wirkung weiterträgt durch die Räume des Weltalls. Der

Digitized by Google

ungeheueren Frequenz entspricht eine Wellenlänge, die wir nach Metern beziffern können. Wir bezeichnen sie als Hertz'sche Wellen. Da sie sich den Lichtwellen nähern, so ist ihre Fernwirkung größer als die der früher betrachteten langen Wellen.

Heinrich Hertz hat den experimentellen Nachweis erbracht, daß wir es bei der Fortpflanzung der elektrischen Kraft durch den Raum tatsächlich mit Wellenerscheinungen

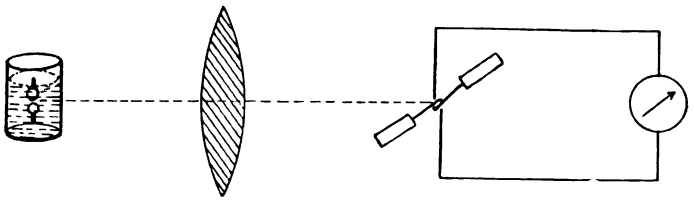


Fig. 74.

zu tun haben und daß die unsichtbaren elektrischen Wellen genau die gleichen Naturgesetze befolgen, wie die sichtbaren Wellen des Lichts. Zum Beweise wollen wir ein bekanntes Lichtexperiment mit elektrischen Strahlen wiederholen: Die Konzentration der Strahlen durch eine Glaslinse. Ich erzeuge dazu elektrische Wellen von kleinstmöglicher Länge, indem ich einen Funken zwischen zwei winzigen Zinkstäbchen in einem mit Petroleum gefüllten undurchsichtigen Behälter übergehen lasse. (Fig. 74.) In den Weg der Funkenstrahlen bringe ich das hochempfindliche Thermoelement, mit dem wir vorhin die minimalsten Wirkungen der Wärme nachweisen konnten. Die Verwendung ist hier eine indirekte: mit dem Thermoelement habe ich zwei kleine Metallflügel verbunden, die zum Auffangen der elektrischen Strahlung dienen und dadurch an der Lötstelle eine Wärmewirkung hervorrufen. Diese wieder-

Digitized by Google

um erzeugt in einem angeschlossenen Kreise elektrische Ströme, die das eingeschaltete Galvanometer uns an seinem wandernden Lichtfleck erkennen läßt. Lassen wir zunächst die elektrische Strahlung direkt wirken: wir beobachten einen kleinen Ausschlag des Lichtflecks. Sowie ich aber eine Glaslinse von bestimmten Dimensionen in den Weg der Strahlung schiebe, vergrößert sich der Ausschlag beträchtlich. Ersetze ich die Glaslinse durch eine gleich große aus schwarzem Pech, so gelingt der Versuch in derselben Weise. Eine dazwischen geschobene Metallplatte dagegen vernichtet sofort den Effekt, sie ist undurchsichtig für die elektrische Strahlung. Bemerkenswert ist das Verhalten des Holzes. Halte ich es so, daß die Fasern in der Richtung der Bewegung des Äthers, so absorbieren sie die Strahlung, senkrecht dazu lassen sie die elektrischen Wellen dagegen frei passieren, wie der Ausschlag des Lichtflecks anzeigt.

Aus diesen und anderen Experimenten können wir nur einen Schluß ziehen: daß Licht und elektrische Strahlung, ebenso wie die strahlende Wärme verwandte Naturerscheinungen sind, die sich nur quantitativ von einander unterscheiden. Sie pflanzen sich mit gleicher Geschwindigkeit fort durch den Wellenschlag einer unbekannten Flüssigkeit, die das Äthermeer des Weltalls mit ihren Fluten erfüllt.

Werden wir diese hypothetische Flüssigkeit je mit unseren Sinnen wahrnehmen können, etwa durch Konzentration? Werden wir je ihre Erzeugung lernen? Nicht völlig hoffnungslos steht die Wissenschaft vor diesem Rätsel. Wir brauchen aber darum nicht zu besorgen, daß die Forschung in ihren letzten Zielen einer rein mechanischen Weltanschauung zustrebt. Im Gegenteil, nur um so eindringlicher und überzeugender lehrt sie uns die große Wahrheit, daß jenseits der

Digitized by Google

sinnlich wahrnehmbaren Welt, durchflutet von Ätherwellen, noch eine zweite bestehen muß, durchweht von göttlichem Hauch, eine Welt des Denkens und Fühlens, zu welcher eine Brücke zu schlagen der Wissenschaft niemals gelingen wird. Bescheiden beschränkt sich die Forschung auf jene Welt. Jedes tiefere Eindringen in dieselbe enthüllt uns neue wunderbare Gesetze der Harmonie.

Unsere Betrachtung hat gezeigt, daß zwischen Naturerscheinungen, die wir früher als gänzlich unabhängig voneinander anzusehen gewohnt waren, zwischen Licht, Wärme und Elektrizität ein gemeinsames Band besteht, das alle umschlingt mit den sichtbaren und unsichtbaren Strahlen des Spektrums. Unsere flüchtige gemeinsame Wanderung heut Abend war somit eigentlich nur ein Spaziergang durch einen Sonnenstrahl, von dem ich hoffen möchte, daß er nicht allzusehr ermüdet hat.

Digitized by Google

5.

Die Funkentelegraphie Marconis.

(1897.)

Als der Breslauer Astronom Galle im Jahre 1846 den Planeten Neptun entdeckte, dessen Vorhandensein kurze Zeit zuvor Leverrier in Paris aus den Uranus-Störungen berechnet hatte, feierte man diese Tatsache als einen Sieg der Wissenschaft. Ähnliche nicht minder glänzende Erfolge hat die Lehre von der Elektrizität in den letzten 50 Jahren aufzuweisen.

Aus rein wissenschaftlichen Erwägungen leitete William Thomson die Gesetze ab, nach denen die Entladung einer Leydener Flasche, sowie überhaupt zweier mit Elektrizität geladener Körper vor sich geht. Bis dahin hatte man in solcher Entladung einen einfachen Übergang der Elektrizität von einem Körper zum anderen erblickt und die von einem knallenden, glänzenden Funken begleitete Erscheinung kaum für merkwürdiger gehalten als alle übrigen elektrischen Vorgänge. Von den damals üblichen Vorstellungen ausgehend, bewies nun Thomson durch Rechnung, daß unter gewissen Bedingungen diese Entladung eine schwingende sein muß, derart, daß dem ersten Übergang von Elektrizität zahllose andere folgen in wechselnder Richtung und mit abnehmender

Digitized by Google

Stärke. Die ganze Erscheinung spielt sich mit einer so ungeheuren Geschwindigkeit ab, daß dem Auge das Hin- und Herwogen der elektrischen Kräfte verborgen bleibt, dieses vielmehr nur den Eindruck eines einzigen Funkens als Gesamtergebnis aufzunehmen vermag. Kurze Zeit darauf konnte Feddersen durch den berühmten Versuch mit rotierenden Spiegeln den bestimmten Nachweis liefern, daß die rechnerischen Folgerungen Thomson's der Wirklichkeit entsprachen.

Von nicht geringerer Bedeutung wurden Betrachtungen, welche ein anderer Physiker, Maxwell, bald darauf anstellte. Zurückgehend auf die eigenartige Deutung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen durch Faraday zeigte er, daß dieselbe bei mathematischer Entwicklung und Vertiefung zu einer überraschenden Erklärung des Wesens und der Ausbreitung elektrischer Erscheinungen führt. Er gelangte zu der Vorstellung, daß von einem elektrischen Funken Kräfte ausgehen, welche sich mit den Kennzeichen von Wellenbewegungen und mit der Geschwindigkeit des Lichts nach allen Richtungen in den Raum verbreiten. Als Träger der Wellenbewegung vermutete er denselben Stoff, den man bereits zur Erklärung der Fortpflanzung des Lichts herangezogen hatte, den Äther, und seine Lehre gipfelte in der Behauptung, daß das Licht selbst eine elektromagnetische Erscheinung sei, daß Licht und elektrische Strahlen dieselben Grundgesetze befolgen. Es ist bekannt, wie unser großer Landsmann Heinrich Hertz am Ende der 80er Jahre durch entscheidende Versuche die Richtigkeit dieser bis dahin nur rechnerisch begründeten Folgerungen nachwies.

Während William Thomson, jetzt Lord Kelvin, noch heut als gefeiertes Haupt der Gelehrtenwelt unter den Lebenden weilt und die erstaunliche Entwicklung der von ihm

Digitized by Google

geweckten Keime vor sich sieht, hat dem Leben von Maxwell und Hertz das Schicksal ein leider allzufrühes Ziel gesetzt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Vortrages, auf die rein wissenschaftliche Bedeutung dieser Tatsachen näher einzugehen, es ist vielmehr die erste technische Verwendung der neuen Erkenntnis, welche ich Ihnen teils durch Bericht, teils durch Versuch vorführen möchte.

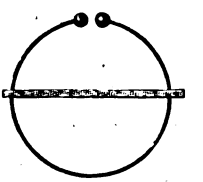


Fig. 75.

Mit dem Eintreten der Technik in dieses für sie durchaus neue Gebiet wiederholt sich eine Erscheinung, die wir schon häufig beobachtet haben. Ohne die streng wissenschaftliche Grundlage wäre sie nicht im Stande gewesen, die wertvolle Nutzanwendung zu machen, die uns heute beschäftigen soll. Andererseits hat sie aber sofort mit ihren größeren Mitteln so durchaus neue Erscheinungen hervorgerufen, daß der Wissenschaft ein weites Arbeitsfeld sich öffnet. Ich habe als Techniker nicht die Absicht, eine vorzeitige Erklärung zu versuchen; desto mehr werde ich aber bestrebt sein, die Erscheinungen selbst und die Mittel zur Hervorrufung derselben möglichst eingehend zu beschreiben.

Heinrich Hertz hat zuerst die Einrichtungen angegeben, mit denen man die von einer Funkenstrecke ausgehenden Strahlen elektrischer Kraft nachweisen kann. Er bediente sich dazu der sogenannten Resonatoren (Fig. 75). Das sind offene Drahtkreise, deren Enden mit kleinen polierten Messingkugeln versehen sind; durch eine isolierte Stellvorrichtung läßt sich der Luftraum zwischen den Kugeln auf geringe Bruchteile eines Millimeters genau einstellen. Bringt man nun einen solchen Resonator in den Weg der elektrischen Strahlen, so wird darin ein elektrisches Mitklingen geweckt,

Digitized by Google

das sich durch Überspringen von Funken an der Unterbrechungsstelle kundgibt, in ähnlicher Art, wie etwa durch Schallwellen eine Stimmgabel zum Mittönen gebracht wird. Ich muß darauf verzichten, Ihnen den Versuch vorzuführen. Die Funken, welche man am elektrischen Mittöner erzielt, sind zu winzig, als daß sie von Allen gesehen werden könnten.

Ich wähle ein stärkeres Mittel, um Sie von der Ausbreitung der elektrischen Kräfte durch den Raum zu überzeugen.

Die Natur, als Funkenerzeugerin, zeigt uns nur weit auseinanderliegende Grenzen. Von dem leisen Knistern, das Sie an kalten Wintertagen vernehmen, wenn Sie im geheizten Zimmer mit einem Gummikamm durch die Haare fahren, bis zu dem Zucken gewaltiger Blitze ist ein ungeheurer Sprung — und doch ist beides die gleiche Erscheinung, von beiden gehen die gleichen unsichtbaren Kräfte aus. Für unsere Zwecke bedienen wir uns einer künstlichen Funkenerzeugung, deren Stärke eine maßvolle Mitte hält zwischen den Äußerungen der Natur. Die Klemmen eines Induktionsapparates von der Ihnen wohlbekannten Bauart verbinden wir mit vollen Messingkugeln, die durch kräftige Ebonitplatten in geeignetem Abstand gehalten werden. Bei Ingangsetzung des Induktoriums erhalten wir eine ununterbrochene Folge von dicken weißglänzenden Funken, deren Ausstrahlungskraft wir vergrößern, wenn wir den Funkenraum mit Öl anfüllen. Bei dem vorliegenden Apparat (Fig. 76) geschieht dies mit Hülfe eines Zylinders aus Pergamentpapier, der die inneren Kugelhälften umspannt. Nach einem zuerst von Righi befolgten Verfahren verbinden wir ferner die Kugeln nicht direkt mit den Klemmen des Induktoriums, sondern laden sie vermittelst kleinerer Kugeln, die den äußeren Kugelhälften in

Digitized by Google

passendem Abstand gegenübergestellt sind. Die Pergamenthülle verdeckt Ihnen den wirksamen Funken, doch hören Sie

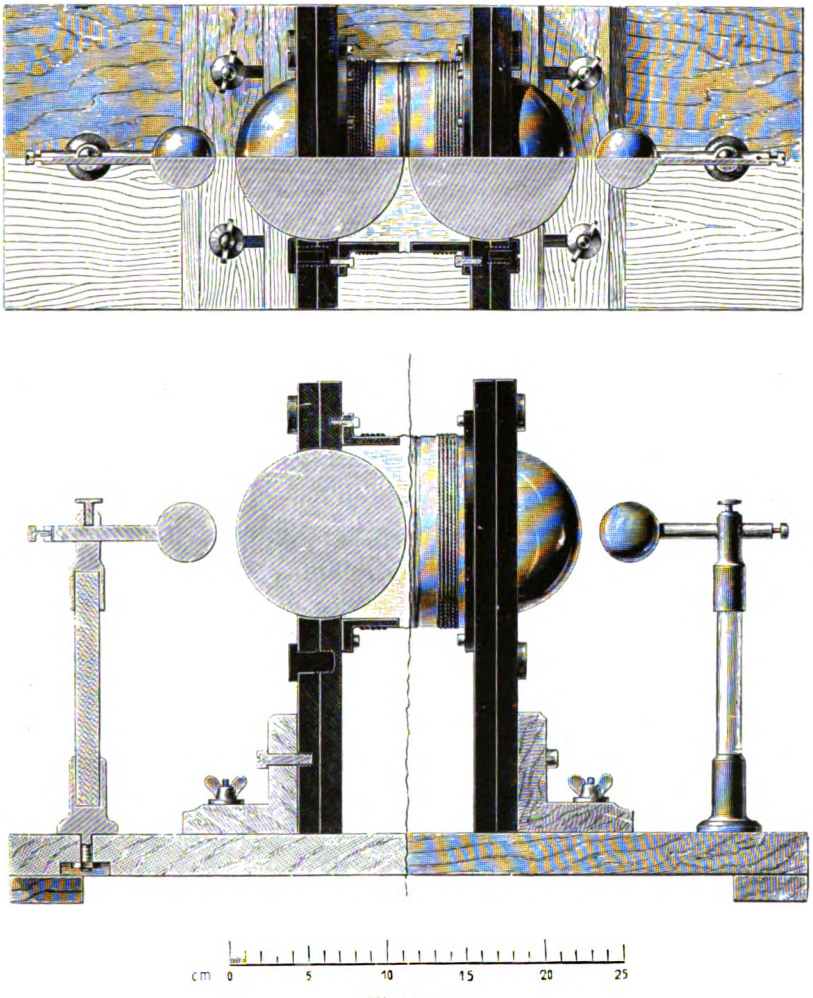


Fig. 76.

deutlich das eigentümliche Geräusch beim Durchbrechen des Öles. Wir wollen dieses Gerät einen Stahlapparat

Digitized by Google

nennen, denn von ihm gehen die Strahlen elektrischer Kraft aus. Wir alle werden davon getroffen; wir merken es nur nicht, weil unserem Körper die Fähigkeit des Mittönens fehlt. Hätten wir metallische Glieder, so wäre das wohl anders.

Ich bediene mich nun eines einfachen Mittels, um die Ausbreitungsfähigkeit der elektrischen Kräfte wesentlich zu verstärken. Dies Mittel wird uns heut Abend noch häufig beschäftigen, es bildet das eigentlich Neue der vorzuführenden Versuche. Dünne Drähte sind es, einige Meter lang, die ich von den Speisekugeln des Strahlapparates, Pole wollen wir sie nennen, nach beiden Seiten isoliert ausspanne. Sie wirken wie das durchlöcherte Rohr eines Sprengwagens, aus ihnen spritzen gleichsam die Strahlen elektrischer Kraft nach allen Seiten senkrecht zum Draht, sie ziehen einen größeren Teil des Raumes in Mitleidenschaft.

Zum Nachweis der Ausbreitung der elektrischen Kräfte benutze ich eine Bogenlampe dort hinten im Saal; ich will sie von hier aus entzünden. Die Bogenlampe selbst ist ihrer regelnden Einrichtung entkleidet. Die gegenüberstehenden Kohlen sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden; solange sie sich nicht berühren, ist der Stromkreis unterbrochen. Im vorliegenden Fall bilden sie einen Mittöner für die elektrischen Strahlen, sie werden zum Mitklingen oder richtiger zum Mitsprühen veranlaßt. Dadurch schließt sich die Brücke für den elektrischen Gleichstrom und die weißerglühenden Kohlenspitzen spenden ihr herrliches Licht. Um den Erfolg zu sichern, verbinde ich die beiden Kohlen mit ähnlichen dünnen Drähten, wie den Strahlapparat. Ich bilde gleichsam Fangarme für die elektrischen Strahlen, Saugerüssel oder Fühlhörner. Jetzt lasse ich den Strahlapparat spielen — Sie sehen die Lampe sofort in Tätigkeit treten.

Digitized by Google

Mit dem einfachen Mittel des Resonators hat Heinrich Hertz die Gesetze erforscht, welche die Ausbreitung elektrischer Kräfte befolgt. Der merkwürdigste seiner Versuche zeigt, daß die elektrischen Strahlen von einer Metallwand zurückgeworfen werden, ähnlich wie das Licht von einer spiegelnden Fläche. Es gelang ihm dadurch der Nachweis der Wellenart der Erscheinung.

Zur Erläuterung will ich ein Beispiel heranziehen, das mit der Elektrizität nichts zu tun hat, das aber eine Wellenbewegung sichtbar macht. Denken wir uns eine endlose dehnbare Schnur gradlinig ausgespannt und erteilen wir dem einen Ende etwa durch Schlag eine Erschütterung, so pflanzt sich dieselbe in Form einer Welle an der Schnur fort. Eine ähnliche Erscheinung beobachten wir, wenn eine ruhende Wasserfläche durch einen Steinwurf in Wallung gerät. In ringförmigen Wellen verbreitet sich die Bewegung nach allen Richtungen vom Ausgangspunkt der Störung. Die Beobachtung eines auf dem Wasser schwimmenden Korkes lehrt uns, daß die einzelnen Wasserteilchen selbst an der nach außen strebenden Bewegung nicht teilnehmen, sondern nur auf- und niedersteigen. Bald sind sie auf einem Wellenberg, bald in einem Wellental. Die gleiche Bezeichnung hat man hinübergenommen auf die Ausbreitung der Störungskraft in einem gradlinigen Mittel, wie beispielsweise unserer Schnur. Auch hier ist deutlich zu erkennen, daß die einzelnen Teile derselben sich nicht in der Richtung der fortschreitenden Welle bewegen, sondern senkrecht dazu nur auf- und niedersteigen. Man bezeichnet solche Wellen darum als Querwellen im Gegensatz zu den Längswellen, wie sie z. B. bei dem Schall auftreten, der seine Wirkungen weiterpflanzt durch Verdichtungen und Verdünnungen des schalltragenden Mittels. Hierbei bewegen sich also die einzelnen Teile des Mittels,

Digitized by Google

etwa der Luft, in Richtung der fortschreitenden Wellenbewegung hin und her.

Durch überzeugende Versuche hat man bekanntlich nachgewiesen, daß das Licht durch Querschwingungen eines unbekannten Mittels, Äther genannt, sich weiterpflanzt. Den gleichen Nachweis hat Hertz für die elektrischen Kräfte erbracht, die von einer Funkenstrecke mit wechselnder Entladung ausgehen. Die Anordnung seines Versuches läßt sich mit wenigen Worten schildern.

Ich lenke Ihre Aufmerksamkeit auf die schwingende Schnur zurück. Wir haben sie bisher als außerordentlich lang vorausgesetzt und nur das Wandern der Welle vom Störungspunkte aus betrachtet. Am anderen Ende ist aber die Schnur, mag sie noch so lang sein, wiederum befestigt. Die dort ankommenden Wellen verschwinden nicht, sie wandern wieder zurück, sie werden zurückgeworfen. Jedes Schnurteilchen erhält nun Bewegungen von beiden Wellenarten, von den hinlaufenden und den zurücklaufenden. Sind die Kräfte an einer Stelle gleichgerichtet, so verstärken sie die Bewegung, bei ungleicher Richtung vermindern sie dieselbe. Es treten Stellen auf, wo die Kräfte sich zu einem Höchstbetrag verstärken, dort muß das Schnurteilchen die größten Querschwingungen machen, an anderen wieder kommt die Querbewegung fast völlig zur Ruhe. Nach einiger Zeit bildet sich ein Zustand aus, den man als stehende Schwingung bezeichnet.

Wenn man geschickt ist, kann man dies mit einer am Ende befestigten Schnur, deren anderes Ende die Hand hält, zeigen. Ich verlasse mich lieber auf künstliche Hülfsmittel.

An dieser senkrechten Latte ist ein Platindraht ausgespannt (Fig. 77), dessen oberes Ende festgeklemmt ist, während der untere Befestigungspunkt an der Zinke einer

Digitized by Google

Stimmgabel sitzt, die durch elektrische Hülfsmittel erregt werden kann. Dabei wird das untere Ende des Drahtes in lebhafte Erschütterung versetzt, die sich nach oben fortpflanzt und am Befestigungspunkt zurückgeworfen wird. Es bilden sich stehende Wellen aus, die wir sichtbar machen können, indem wir einen starken elektrischen Strom durch den Draht senden. Die Ruhepunkte, Knotenpunkte genannt, werden sich bis zur Rotglut erhitzen, die stark bewegten Stellen dagegen, die Bäuche, werden durch die Luft gekühlt und bleiben dunkel. Zur besseren Beobachtung wollen wir den Saal verdunkeln. Sie werden jetzt deutlich 4 Knotenpunkte erkennen. Die bleibende Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knotenpunkten *a b* (Fig. 77) ist die halbe Länge der Welle, denn von *a* bis *c* ist die hinlaufende Welle um ihre ganze aus Wellental und Wellenberg bestehende Länge vorgeschritten. Die Zeit, welche verstreicht, bis jedes Drahtteilchen einmal seine volle Querschwingung ausgeführt hat, nennt man die Schwingungszeit und die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde die Schwingungszahl.

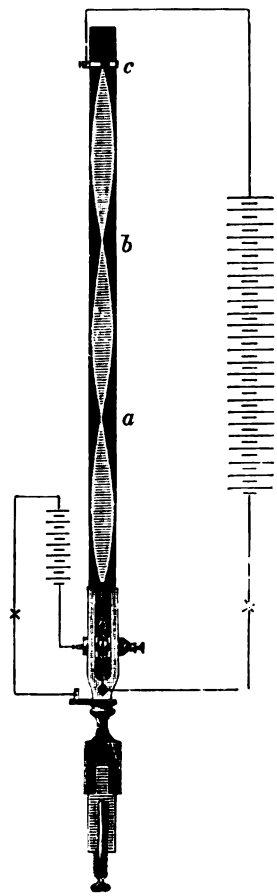


Fig. 77.

Wir können diese Tatsachen an dem Apparat mit unseren Augen deutlich erkennen. Nehmen wir aber einmal an, wir wären blind und nur mit Gefühl begabt, so könnten

Digitized by Google

wir uns dennoch von der Eigentümlichkeit der Erscheinung überzeugen. Wir brauchten nur den Finger in die Nähe des Drahtes zu halten. Die Bäuche würden wir deutlich fühlen durch Stöße, an den Knotenpunkten würden wir uns dagegen verbrennen. Indem wir nun diese Stellen durch das Gefühl aufsuchen, können wir nicht nur den Schluß ziehen, daß Wellenbewegungen eines uns unsichtbaren Mittels, Draht genannt, vorhanden sind, wir können sogar die Entfernung der Knotenpunkte und damit die Länge der Wellen ermitteln. Sogar die Feststellung der Schwingungszahl durch Abzählung der Stöße wäre nicht undenkbar.

Genau das Entsprechende hat Hertz getan bei der Untersuchung elektrischer Wellen. Er richtete die von einer Funkenstrecke ausgehenden unsichtbaren Strahlen elektrischer Kraft gegen eine Metallwand. Dort wurden sie zurückgeworfen. Indem er nun seinen Resonator, gleichsam als einen tastenden Finger, an verschiedene Stellen des Strahlenweges brachte, konnte er Orte festlegen, wo er am lebhaftesten ansprach und solche, an denen er fast völlig versagte. Mein Kollege, Herr Professor Rubens, hat sogar durch feinere Meßmethoden die Größe des elektrischen Stoßes für jede Stelle ermittelt und gesetzmäßige Zu- und Abnahme gefunden. Damit ist aber die Wahrscheinlichkeit zur Gewißheit geworden, daß die Strahlen elektrischer Kraft das Merkmal einer Wellenerscheinung tragen ebenso wie die Strahlen des Lichts.

Doch noch mehr. Betrachten wir die Geschwindigkeit, mit der eine Wasserwelle vom Ausgang der Störung fortschreitet. Die Störung selbst hat sich um eine Wellenlänge fortgepflanzt, wenn ein Wasserteilchen einmal auf und nieder geschwankt ist. Beträgt die Anzahl dieser Schwingungen n pro Sekunde, und die Länge einer Welle l, so ist nl der Weg,

Digitized by Google

um den die Störung in 1 Sekunde sich fortpflanzt, also die Wanderungsgeschwindigkeit der Welle.

Genau so liegen die Verhältnisse bei den elektrischen Wellen. Nun kann man nach den eingangs erwähnten Rechnungen Thomson's aus den Abmessungen des funkenerzeugenden Apparates die Anzahl der wechselnden Entladungen ermitteln, welche in 1 Sekunde erfolgen, man kennt mithin die Anzahl der Stöße in 1 Sekunde, d. h. die Schwingungszahl. Stellt man ferner, wie Hertz es getan, die Wellenlänge durch Tastversuche mit dem Resonator fest, nachdem man die Wellen durch Zurückwerfen in stehende verwandelt, so sind alle Mittel gegeben zur Berechnung der Geschwindigkeit, mit welcher eine elektrische Störung, ein elektrischer Anstoß, sich durch den Raum nach allen Richtungen hin verbreitet. Hertz fand mit großer Annäherung die Lichtgeschwindigkeit 300 000 km in 1 Sekunde.

Diese Geschwindigkeit ist eine so ungeheure, daß wir nicht daran denken können, die Wanderung der elektrischen Kraft unseren Augen wahrnehmbar zu machen. Professor Silvanus Thompson in Londen zeigte mir in diesem Sommer ein reizendes Modell, in welchem er mit rein mechanischen Mitteln die Wanderung einer Ätherwelle veranschaulicht. Er hatte die Freundlichkeit, ein solches für mich anfertigen zu lassen. (Fig. 78.) Den Strahlapparat stellen zwei schwere Messingplatten dar, welche an Fäden hängen und eine bestimmte, verhältnismäßige große Schwingungszeit besitzen. Der „Resonator" ist ein unterbrochener Messingkreis und hängt gleichfalls an Fäden. Beide können durch Kürzung oder Längung der Schnur so geregelt werden, daß sie gleiche Schwingungszeiten besitzen.

Zur Darstellung des wellentragenden Mittels, des Äthers, dienen kleine Bleikugeln, welche in gleicher Weise an V-förmi-

Digitized by Google

gen Fäden hängen. Die aufeinanderfolgenden Fäden überkreuzen sich, so daß keine Kugel schwingen kann ohne etwas von ihrer Bewegung dem Nachbar mitzuteilen. Setzt man den Strahlapparat in Bewegung, so erteilt er den Kugeln Querschwingungen, die sich längs der Kugelreihe langsam fortpflanzen. Man kann sie deutlich mit dem Auge verfolgen und sieht, wie sie nach einiger Zeit zum Resonator gelangen

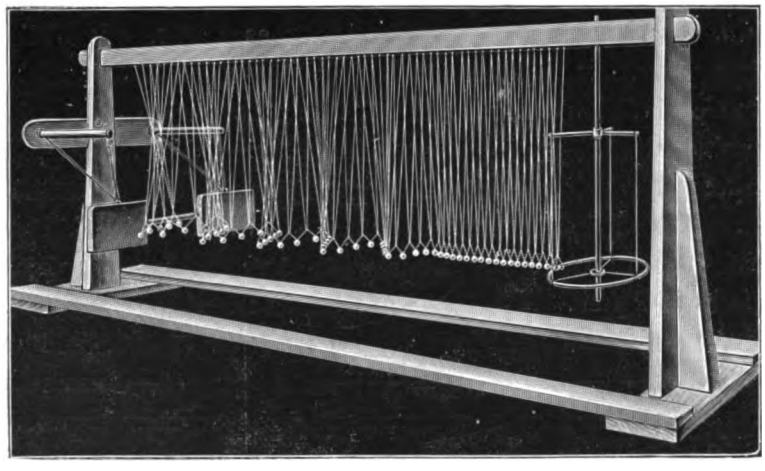


Fig. 78.

und diesen zum Mitschwingen veranlassen. Ebenso stellt man sich heut die Fortpflanzung der elektrischen Kräfte durch den Äther vor.

Zum Schlusse dieser physikalischen Einleitung noch eine kurze Bemerkung. Aus optischen Untersuchungen weiß man, daß die einfarbigen Strahlen, in welche das weiße Licht durch Brechung sich zerlegt, verschiedene Wellenlängen besitzen. Die größte Wellenlänge besitzt das rote Licht mit 0,8 Mikron (1 Mikron ist der tausendste Teil eines Millimeters); sie verringert sich nach dem violetten Teil des Spektrums, dort be-

Digitized by Google

trägt die Wellenlänge nur etwa 0,4 Mikron. Umgekehrt verhalten sich die Schwingungszahlen, beim roten Licht erfolgen 400 Billionen Schwingungen in 1 Sekunde, beim violetten Licht dagegen 800 Billionen. Die bis jetzt bekannten Wellenlängen elektrischer Strahlen schwanken in der Größenordnung zwischen Zentimetern und Kilometern, ihre Schwingungszahlen betragen nur wenige Millionen in der Sekunde. Sie ordnen sich also in den ultraroten Teil des Spektrums ein. In dem äußersten ultravioletten Teil des Spektrums vermutet man bekanntlich die Röntgenstrahlen. Die letzten Jahre der physikalischen Forschung bedeuten also einen kühnen Vorstoß in die Grenzgebiete der Natur. Wer will sagen, ob und wo wir das Ende erreichen. Beide Untersuchungsergebnisse der reinen Forschung haben sofort wichtige Anwendungen gefunden zum Nutzen der Menschheit.

Es würde mich von dem eigentlichen Gegenstande meines Vortrages zu weit entfernen, wollte ich der schönen Versuche gedenken, durch welche Hertz und seine Nachfolger bewiesen haben, daß die elektrischen Strahlen ebenso wie die Lichtstrahlen die Gesetze der Brechung, der Interferenz und der Polarisation befolgen. Soweit dies überhaupt möglich ist, haben sie uns die Gewißheit verschafft, daß Licht und elektrische Strahlen Erscheinungen gleicher Art sind, die sich nur durch Größenverhältnisse von einander unterscheiden.

Die Netzhaut des Auges ist das empfindliche Instrument, welches uns die Wahrnehmung der Lichtstrahlen ermöglicht; in entsprechender Weise dürfen wir nunmehr die Apparate, welche die Wirkungen der elektrischen Strahlen zeigen, elektrische Augen nennen. Der Hertz'sche Resonator ist ein recht unvollkommenes Auge, es ist schwach und kurzsichtig, nur die blendendsten Wirkungen der elektrischen Strahlen können wir damit erkennen und den Helligkeitsgrad derselben,

Digitized by Google

wenn ich mich so ausdrücken darf, nur annähernd schätzen. Heut verfügen wir über eine stattliche Zahl hochempfindlicher elektrischer Augen, mit denen die Stärke der Wirkung genau gemessen werden kann.

Das allerempfindlichste derselben stellt sich dar als eine sinnreiche Verbesserung des Hertz'schen Resonators. Das Kennzeichen des letzteren war die Unterbrechung einer metallischen Leitung durch eine Luftstrecke von außerordentlich geringer Größe. Die Wirkung einer elektrischen Bestrahlung äußerte sich in dem Auftreten sichtbarer Funken. Wir mußten also unser menschliches Auge zu Hilfe nehmen oder mit anderen Worten, wir bewirkten eine Umsetzung der von der Funkenstrecke ausgehenden elektrischen Strahlung in Lichtstrahlung. Wir können aber auch andere Hilfsmittel heranziehen, um die unendlich kleinen Funken zu erkennen, wenn das Auge versagt. Die empfindlichsten Mittel sind immer die elektrischen; wir wählen einen elektrischen Gleichstrom, dessen geringste Spuren durch Galvanometer nicht bloß erkannt, sondern auch gemessen werden können.

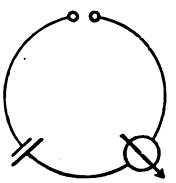


Fig. 79.

Denken Sie sich die metallischen Knöpfe eines Hertzschen Resonators soweit genähert, daß der verbleibende Luftzwischenraum selbst mit den feinsten optischen Mitteln nicht mehr erkennbar ist, dennoch braucht eine völlige metallische Berührung noch nicht zu bestehen. Schalten wir nun in den Drahtkreis des Resonators (Fig. 79) eine kleine galvanische Batterie, etwa ein Trockenelement von geringer elektromotorischer Kraft und ein hochempfindliches Galvanometer, so wird, so lange der Stromkreis an den Kugeln unterbrochen ist, die Nadel des Galvanometers in Ruhe verharren. Wirkt aber eine elektrische Strahlung auf den Kreis, so

Digitized by Google

durchzittern denselben in elektrischer Resonanz die elektrischen Wellen, für welche der Luftzwischenraum keine Sperrung bildet, gleichsam wie eine Wasserwelle in Milliarden von Stäubchen über ein Hindernis spritzt. So spritzen sie hier in der Form von feinen Fünkchen hinüber und wenn auch den schärfsten optischen Hülfsmitteln verborgen, sind sie dennoch für einen Augenblick vorhanden und füllen, wie jeder Funke, den Luftraum mit Metalldämpfen an. Diese leiten den Gleichstrom und schließen den Kreis; die Folge ist ein deutlicher Ausschlag der Galvanometernadel. Entweder schwingt nun die Nadel nach beendigter Strahlung zurück, dann hat sich der isolierende Luftzwischenraum von selbst wieder hergestellt, und das elektrische Auge ist bereit, auf eine neue Strahlung anzusprechen, oder — und das ist der gewöhnliche Fall — geringe Stäubchen des nach der Verdampfung wieder verdichteten Metalles füllen den Luftraum und bilden eine metallische Brücke; dann ist der Ausschlag des Galvanometers ein bleibender. Doch die geringste Erschütterung bringt diese lose Brücke zum Einsturz und unterbricht die metallische Berührung.

Diese zwanglose Erklärung eines verschärften elektrischen Auges aus den Eigenschaften des Hertz'schen Resonators trifft auch auf dasjenige Auge zu, welches Marconi benutzt, um mit Hilfe elektrischer Strahlen auf weite Entfernungen zu telegraphieren. Es ist indessen üblich, den Entwicklungsgang auf eine andere Ausgangsquelle zurückzuführen.

Im Jahre 1890 entdeckte Branly eine eigentümliche Eigenschaft loser in einer Glasröhre übereinander geschichteter Metallkörner, wie Eisen-, Kupfer- oder Messingfeile. Eine solche Röhre bietet dem Durchgang eines elektrischen Stromes einen unüberwindlichen Widerstand, so daß man dieselbe mit metallischen Anschlußplatten oder darin gebetteten gut-

Digitized by Google

leitenden Kugeln an die Pole einer galvanischen Batterie anschließen kann, ohne einen Strom zu erhalten. Zum Nachweis dieser Wirkung schaltete Branly ein empfindliches Galvanometer in denselben Stromkreis. Sobald aber diese Röhre von elektrischen Strahlen getroffen wird, leitet sie den Gleichstrom und das Galvanometer erfährt einen Ausschlag. Eine leise Erschütterung der Röhre nach erfolgter Bestrahlung stellt den unendlichen Widerstand wieder her. Fig. 80 zeigt eine solche Einrichtung, bei der die Metallfeile durch lose übereinander geschichtete eiserne Nägel ersetzt sind.

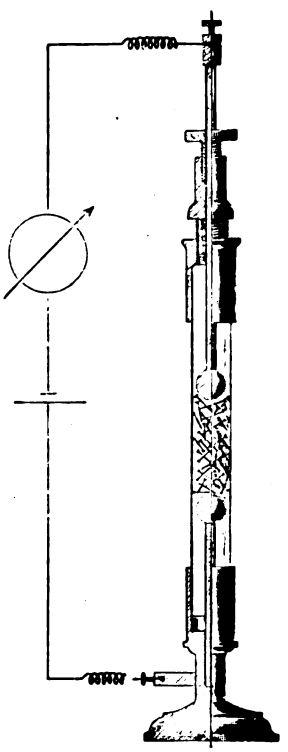


Fig. 80.

Wir können auch hier die Erklärung auf den Hertzschen Resonator zurückführen. An die einzelne Unterbrechungsstelle treten die zahllosen Berührungsstellen des Metallfeilicht mit unreiner isolierender Oberfläche. Die Bestrahlung ruft in dem Stromkreis eine elektrische Erzitterung hervor und zahllose unsichtbare Fünkchen an den Unterbrechungsstellen bewirken die metallische Berührung.

Für diese einfache Erklärung spricht auch der Umstand, daß mit Metallen, deren Oberfläche leichter und dauernder metallisch bleibt, wie Platin, Gold und Silber, die Wirkung nicht so gut zu erzielen ist. Vorzüglich eignen sich dagegen Metalle wie Kupfer, Messing, Aluminium, Eisen und Nickel, deren Oberflächen bekanntlich nur auf kurze Zeit metallisch rein zu halten sind. Mit Kohlenkörnern oder

Digitized by Google

Kohlenpulver ist die Wirkung unsicher, was dagegen spricht, die Erscheinung als eine rein mikrophonische zu erklären.

Lodge scheint zuerst solche Röhren als elektrische Augen zum Studium Hertz'scher Strahlen benutzt zu haben. In seinem fesselnden Buche „The Work of Hertz and some of his successors" beschreibt er verschiedene Einrichtungen dieser und ähnlicher Art, welche er schon 1889 benutzt hat. Von ihm stammt auch der Name „coherer", den er von cohere, Kohäriren, abgeleitet hat, weil durch elektrische Bestrahlung eine innigere Verbindung des Metallfeilicht, gleichsam eine Kohäsion bewirkt wird. Man hat für deutschen Gebrauch das häßliche Wort „Kohärer" (richtiger wäre Kohärirer) gebildet, das man wohl gerne wieder verschwinden sähe. Ich habe Herrn Geh.-Rat Reuleaux ersucht, seine so oft schon bewährte Kunst, treffende deutsche Bezeichnungen zu bilden, auch im vorliegenden Falle zu üben. Er hat für Kohäriren das Wort „Fritten" vorgeschlagen. Man bezeichnet damit in der Technik einen Vorgang, bei dem lose pulverförmige Massen durch oberflächliche Schmelzung zum Zusammenhängen gebracht werden. Das trifft hier vollkommen zu und man würde den „coherer" zweckmäßig als „Fritter" oder „Frittröhre" verdeutschen können. Lodge ist wohl auch als Vater des Gedankens zu bezeichnen, mit elektrischen Strahlen und solchen Röhren zu telegraphieren; er bezeichnet aber als äußerste erreichbare Entfernung eine halbe englische Meile (800 m), ohne dies indeß praktisch erprobt zu haben.*)

*) Im Electrician (1. Okt. 1897) ist auch auf eine Äußerung von Sir William Crookes hingewiesen worden. Dieselbe findet sich in einem Aufsatz „Some Possibilities of Electricity" in Fortnightly Review, Februar 1892, und ist sehr interessant, weshalb ich sie hier mitteile.

„Ob längere Ätherwellen, welche das Auge nicht mehr wahrnimmt, ununterbrochen um uns her in Tätigkeit sind, haben wir bis vor Kurzem niemals ernstlich erforscht. Aber die Untersuchungen von

Digitized by Google

Die Nachricht, daß Marconi diese Telegraphie auf meilenweite Entfernung praktisch durchgeführt habe, gelangte am Anfang dieses Jahres zu uns. Wer den Thatsachen, zu welchen das Studium der Hertz'schen Strahlen führte, aufmerksam gefolgt war, der wußte, daß den Zeitungsberichten ein gut Stück Wahrheit zugrunde lag.

Wie viele andere hatte auch ich mich mit der Aufgabe beschäftigt, war indes nicht weiter gekommen, als von einem zum andern Ende der langen Gänge unserer Hochschule.

Lodge in England und Hertz in Deutschland offenbaren uns eine fast unbegrenzte Fülle von Äthererscheinungen oder elektrischen Strahlen, deren Wellenlängen tausende von Meilen bis zu wenigen Fußen betragen. Hier öffnet sich uns eine neue, staunenerregende Welt, von der wir schwerlich annehmen können, daß sie nicht auch die Möglichkeit der Übertragbarkeit von Gedanken enthalten sollte. Lichtstrahlen dringen nicht durch eine Mauer, auch nicht durch einen Londoner Nebel, wie wir Alle nur zu gut wissen. Aber elektrische Wellen von 1 m Länge oder mehr werden solche Stoffe leicht durchsetzen, dieselben werden für sie durchsichtig sein. Es ergibt sich hier die fesselnde Möglichkeit einer Telegraphie ohne Drähte, ohne Pfähle, ohne Kabel, ohne das ganze kostspielige Beiwerk. Setzen wir die Erfüllbarkeit weniger vernünftiger Forderungen voraus, so rückt die Frage durchaus in den Bereich der Möglichkeit. Wir können heut Wellen von jeder gewünschten Länge erzeugen, von wenigen Fußen an aufwärts, und eine Aufeinanderfolge von solchen nach allen Richtungen des Raumes ausstrahlenden Wellen erhalten. Es ist auch, wenn nicht bei allen, so doch bei einigen dieser Strahlen möglich, sie durch geeignet geformte als Linsen wirkende Körper zu brechen und so ein Bündel von Strahlen nach irgend einer gegebenen Richtung zu werfen; große linsenförmige Massen aus Pech und ähnlichen Stoffen hat man für diesen Zweck benutzt. Auch könnte man in der Ferne einige, wenn nicht alle dieser Strahlen mit besonders eingerichteten Apparaten auffangen und durch verabredete Zeichen in Morseschrift einem Andern übermitteln . . . Zwei Freunde, die innerhalb der Übertragungsgrenze ihrer Empfänger leben, könnten ihre Apparate auf spezielle Wellenlängen abstimmen und, so oft es ihnen gefällt, durch lange und kurze Strahlung in den Zeichen der Morseschrift mit einander verkehren. Auf den ersten Blick würde man gegen diesen Plan den Einwand erheben, daß die Mitteilungen nicht geheim zu halten seien. Nehmen wir an, die Beteiligten wären eine Meile entfernt von einander, so würden die Strahlen, welche der Sender nach allen Richtungen aus-

Digitized by Google

Selbst die Zuhilfenahme von parabolischen Spiegeln und großen Kapazitäten brachte uns über diese Grenze nicht hinaus. Marconi mußte, das wurde mir klar, noch etwas Anderes, Neues zu dem Bekannten hinzugefügt haben, wodurch die kilometerlangen Entfernungen erreicht wurden. Kurz entschlossen reiste ich nach England, wo die Telegraphenverwaltung größere Versuche anstellte. Durch meinen Freund Gisbert Kapp bei Mr. Preece, dem Chefingenieur der englischen Telegraphenbehörde, vortrefflich eingeführt, wurde

schickt, eine Kugel mit dem Halbmesser von einer Meile erfüllen und jedermann, der innerhalb dieser Entfernung vom Sender sich befände, könnte die Mitteilung auffangen. Dies würde auf zwei Arten vermieden werden können. Wären die Lagen des Senders und des Empfängers genau bestimmt, so könnte man die Strahlen mit größerer oder geringerer Sicherheit auf den Empfänger vereinigen. Wären indes Sender und Empfänger beweglich, so daß eine Linsenanordnung sich verbietet, so müßten die Beteiligten ihre Apparate auf eine und dieselbe Wellenlänge, sagen wir etwa 50 m, abstimmen. Ich nehme dabei an, daß man Apparate erfinden würde, welche durch Drehung einer Schraube oder durch Änderung der Länge eines Drahtes so geregelt werden können, daß sie zur Aufnahme von Wellen verabredeter Länge geeignet würden. Wären sie etwa auf 50 m eingestellt, so würde der Empfänger nur Wellen von vielleicht 45 bis 55 m aufnehmen und für alle übrigen unempfindlich sein. Bedenkt man, daß eine große Zahl von Wellenlängen zur Verfügung steht, von einigen Fußen bis zu tausenden von Meilen, so erscheint die Geheimhaltung ausführbar; wäre ein Neugieriger noch so unermüdlich, er würde doch sicherlich vor der Aufgabe zurückschrecken, all die Millionen von möglichen Wellenlängen zu versuchen, um endlich durch Zufall auf diejenigen zu stoßen, welche die zu Belauschenden benutzen. Durch Geheimzeichen könnte man selbst diese Möglichkeit ausschließen. Das sind nicht bloße Träumereien. Alle Erfordernisse, den Plan zu verwirklichen, liegen in dem Bereich der Möglichkeit und zwar genau auf dem Wege, den die Forschung in allen Hauptstädten Europas bereits eingeschlagen hat, so daß wir täglich erwarten können zu hören, die Aufgabe sei praktisch gelöst. Schon heut ist eine Telegraphie ohne Drähte bereits möglich auf die beschränkte Entfernung von einigen hundert Metern, und vor einigen Jahren habe ich selbst Versuchen beigewohnt, bei denen Telegramme von einem Teil eines Hauses zu einem andern ohne verbindenden Draht fast genau durch die beschriebenen Mittel gesandt wurden."

Digitized by Google

mir in liebenswürdigster Weise die Teilnahme daran gestattet. Ich will nun gleich vorwegnehmen: Was ich sah, war tatsächlich etwas Neues, Marconi hatte eine Entdeckung gemacht; er arbeitete mit Mitteln, deren volle Bedeutung vor ihm noch niemand erkannt hatte. Nur dadurch erklärt sich sein Erfolg.

Ich möchte dies gleich am Anfang meiner Mitteilungen hervorheben, weil in letzter Zeit, besonders in der englischen Fachpresse, der Versuch gemacht worden ist, dem Verfahren Marconi's die Neuheit abzusprechen. Die Erzeugung der Hertz'schen Wellen, ihre Ausbreitung durch den Raum, die Empfindlichkeit des elektrischen Auges — das Alles sei bekannt gewesen. Sehr richtig, aber mit diesen bekannten Mitteln kam man eben auf 50 Meter und nicht weiter.*)

Marconi hat zunächst für das Verfahren eine geistvolle Einrichtung ersonnen, die mit den einfachsten Hilfsmitteln eine sichere technische Wirkung erreicht. Sodann hat er gezeigt, wie durch Erdverbindung der Apparate einerseits, sowie durch Benutzung lang ausgestreckter senkrechter Drähte andererseits eine Telegraphie erst möglich wird. Diese Drähte bilden das Wesentliche seiner Erfindung, die Bezeichnung „Telegraphie ohne Draht" ist darum eigentlich falsch, richtiger nennt man sie wohl „Funkentelegraphie" im Gegensatz zu der bisherigen „Stromtelegraphie".

Ich will zunächst die bauliche Einrichtung erörtern. Der Hauptteil des Apparates ist das elektrische Auge, das Fig. 81 in halber natürlicher Größe zeigt. Nach vielen Versuchen hat Marconi ein Metallpulver, oder richtiger eine Mischung von Metallpulvern als beste erkannt, welche zu 96 pCt. aus Hart-

*) Dem Verfasser war damals (1897) die Pionierarbeit von Edison, Tesla, Lodge und Popoff noch nicht im vollen Umfange bekannt.

Digitized by Google

nickel, zu 4 pCt. aus Silber besteht. Es wird durch Raspeln mit reinen und trockenen Feilen erzeugt. Diese Mischung wird in eine Glasröhre eingeschlossen zwischen zwei Kolben aus Silber, deren begrenzende Oberflächen durch eine Spur Quecksilber amalgamiert sind. Je dünner man die Pulverschicht macht, desto empfindlicher wird das Auge, d. h. bei desto geringerer Strahlungsenergie spricht es an. Die Schicht hat nur etwa $^1/_2$ mm Dicke, man bringt darin kaum mehr als 20—25 Metallkörner unter. Der angegebene genaue Prozentsatz des Silbers wird dadurch gegenstandslos; man kann nur

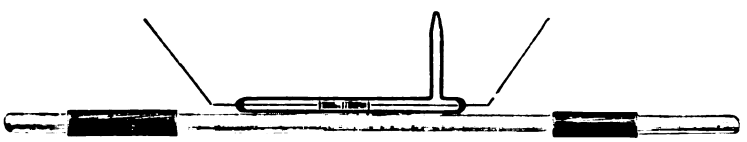


Fig. 81.

sagen, daß ein größerer Reichtum an Silberkörnern die Röhre empfindlicher macht, man tauscht dafür aber einen Nachteil ein: je mehr Silber, desto schlechter wird die Auslösungsfähigkeit, d. i. die Unterbrechung durch Erschütterung nach erfolgter Zeichengebung. Für die sichere Wirkung ist das aber die Hauptsache, ich lasse darum das Silber ganz fort und nehme nur reine Nickelfeile. Marconi empfiehlt ferner, die Röhre nach erfolgter Füllung auszupumpen und dann erst zuzuschmelzen. Das erste ist nach meinen Beobachtungen minder wichtig, das Zuschmelzen dagegen empfehlenswerth, weil es die richtige Lage der begrenzenden Silberkolben sichert. Die Zuleitung bewirken Platindrähte, die mit den Silberkolben verlötet werden. Von allergrößter Wichtigkeit ist es aber, daß man die Metallkörner mit der Lupe von möglichst gleicher Größe aussucht, die scharfkantigen, zackigen und spitzigen bevorzugt, die rundlichen tunlichst

Digitized by Google

vermeidet. Vor der Füllung muß man sie sorgfältig reinigen und trocknen. Trotz alledem ist man vom Zufall abhängig; von einer ganzen Reihe, die in gleicher Weise hergestellt sind, hat man immer einige auszumerzen, teils wegen zu geringer oder zu großer Empfindlichkeit, teils wegen mangelnder Auslösungsfähigkeit.

Die Anordnung von Marconi's Empfänger will ich zunächst übersichtlich erläutern. Der stark ausgezogene Stromkreis (Fig. 82), welchen ich als Hauptkreis bezeichnen will, enthält in Hintereinanderschaltung ein kleines Trockenelement *A* von 1,5 bis 1,2 Volt elektromotorischer Kraft, ein empfindliches Relais *B* und die Frittröhre *C*. Relais nennt man bekanntlich einen in der Telegraphie viel benutzten Übertrager, der auf sehr geringe Ströme anspricht und dabei eine Zunge bewegt, die einen zweiten Stromkreis mit stärkerer Batterie, die sogenannte Ortsbatterie schließt. Ist der Fritter ausgelöst, so ist der Stromkreis unterbrochen; die Zunge des stromlosen Relais lehnt gegen den Ruhestift. Nach erfolgter Bestrahlung gestattet die Frittung in *C* die Ausbildung eines Stromes, welcher die Relaiszunge auf den Arbeitsstift legt. Dadurch schließt sich der Nebenkreis der Ortsbatterie *a* und der darin eingeschaltete Morseschreiber *b*, sowie der Klopfer *c* werden betätigt. Bei dem ersten Schlage des Klopfers gegen

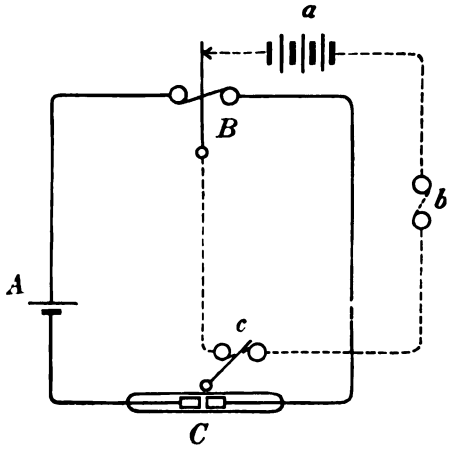


Fig. 82.

Digitized by Google

den Fritter muß dieser sich auslösen, dadurch wird der Hauptkreis stromlos, die Relaiszunge legt sich wieder auf den Ruhestift und schaltet die Ortsbatterie aus. Bei erneuter Bestrahlung wiederholt sich der Vorgang. Es ist klar, daß man durch unterbrochene Bestrahlung des Fritters die Zeichen des Morse-Alphabets erzeugen kann.

Mit dieser einfachen Anordnung können wir im Zimmer oder von einem ins andere telegraphieren. In die Hauptwickelung des Induktoriums schaltet man einen gewöhnlichen Morsetaster, mit dem man für kürzere oder längere Zeit den Strom schließt. Ich will die Handhabung an den beiden Apparaten erläutern, die hier zu beiden Seiten des Saales etwa 20 m von einander entfernt aufgestellt sind. Die Frittröhre ist mit Marineleim an einen längeren Glasstab gekittet, der zur wagerechten Befestigung an zwei senkrechten Metallständern dient. Unmittelbar vor dem mit Nickelfeile gefüllten Spalt befindet sich der Klopfer, ein kleiner Hornklöppel an einem Anker, der von dem dahinter liegenden Elektromagnet in ähnlicher Weise bewegt wird, wie der Klöppel einer elektrischen Klingel. Der Elektromagnet des Klopfers ist hier parallel zu dem Morseschreiber bezw. zu einem elektrischen Läutewerke geschaltet und nicht, wie die Zeichnung der Übersichtlichkeit wegen angibt, in Hintereinanderschaltung. Ich verbinde nunmehr ein Trockenelement mit dem Hauptstromkreis und schalte das Läutewerk parallel zum Klopfer in den Nebenkreis. Wie Sie bemerken, bleibt alles in Ruhe, da der Hauptkreis in dem Fritter völlig unterbrochen ist, die Zunge des Relais legt sich gegen den Ruhestift. Sobald ich nun aber eine elektrische Strahlung erzeuge, welche die Frittröhre trifft, ändert sich das Bild. Die Nickelfeile bildet elektrischen Schluß, das Trockenelement sendet einen Strom durch das Relais und dieses schließt den Nebenkreis.

Digitized by Google

Sie hören das Klingelzeichen und den Schlag des Klopfers gegen die Röhre, wodurch der Stromkreis wieder unterbrochen wird. Lasse ich andauernd schwingende Entladungen am Strahlapparat übergehen, so folgt auf jede Unterbrechung eine erneute Bestrahlung, der Vorgang wiederholt sich, so lange ich will, die Klingel und der Klopfer arbeiten weiter. Das Rufzeichen ist gegeben, wir schalten das Läutewerk aus, den Morseschreiber ein, das Telegraphieren kann beginnen.

(Es folgt die Sendung und Aufnahme eines Telegramms.)

Soweit ist alles einfach und leicht zu verstehen. Marconi, ein noch jugendlicher Italiener, im Anfang der Zwanziger, begann seine Versuche auf dem Landgute seines Vaters bei Bologna, angeregt durch die Vorlesungen Righis an der Universität zu Bologna. Dort machte er auch die schöne und folgenreiche Entdeckung, von der ich schon gesprochen habe. Er fand, daß die Entfernung, welche er mit den geschilderten Einrichtungen erreichen konnte, mehr als verhundertfacht wurde, wenn er den einen Pol seines Strahlapparates mit einem senkrechten Draht, den anderen Pol mit der Erde verband und die gleiche Einrichtung an der Frittröhre des Empfängers traf. Noch bis zur Mitte dieses Sommers glaubte er, daß zur Erreichung guten Erfolges Kapazitäten erforderlich seien, welche er in Form von Zinkplatten oder Zinkzylindern an den obersten Enden der Luftdrähte anbrachte. In seiner vor mehr als Jahresfrist verfaßten und vor einigen Monaten veröffentlichten englischen Patentschrift legte er auf diese Kapazitäten besonderen Wert. Die Versuche, welche er im Frühjahr in England und im Sommer in Spezia anstellte, scheinen ihn nach einer brieflichen Mitteilung nunmehr auch zu der Überzeugung gebracht zu haben, daß die umständlichen Kapazitäten nicht so wichtig seien, wie er anfangs annahm:

Digitized by Google

es ist hauptsächlich die Länge des Luftdrahtes, wodurch die Überschreitung großer Entfernungen bedingt wird.

Die Erforschung der Funkentelegraphie ist in den begrenzten Räumen eines Laboratoriums schwer möglich. Man braucht dazu kilometerlange Entfernungen in freier Luft, nicht unterbrochen durch Wälder, Berge oder Häuser. Das senkrechte Ausspannen langer gut isolierter Drähte ist keine einfache Sache, noch dazu, wenn, wie bei den ersten Versuchen Marconi's, die oberen Enden mit großen Kapazitäten versehen werden sollen.

Marconi kam ein überaus glücklicher Umstand zu Hilfe. Der Chefingenieur der englischen Telegraphenbehörde, Mr. Preece, hatte sich seit Jahren bemüht, die Leuchtschiffe an der englischen Küste und kleine in der Nähe derselben liegende Inseln telegraphisch mit dem Festlande zu verbinden ohne Benutzung von Kabeln. Er spannte parallele Drähte aus, deren Enden in das Wasser geführt wurden; jeder derselben stellte somit einen geschlossenen Kreis dar. Wurden nun durch den einen kräftige, absetzende, elektrische Ströme oder Wechselströme gesandt, so riefen sie durch Induktion in dem parallel gestellten Draht elektrische Stromstöße hervor, die durch einen eingeschalteten Fernsprecher hörbar gemacht werden konnten. Schon im Jahre 1892 hatte er auf diese Weise zwischen Penarth und Flatholm im Bristolkanal eine telegraphische Verbindung hergestellt. Auch hier bei uns auf dem Wannsee haben die Herren Rathenau und Rubens ähnliche erfolgreiche Versuche ausgeführt. Man scheint indes über beschränkte Entfernungen nicht hinausgekommen zu sein, zudem bereitet der Anruf nicht unerhebliche Schwierigkeiten.

An Mr. Preece wandte sich Marconi; er fand sofort Verständnis und tatkräftige Unterstützung. Auf dem alten

Digitized by Google

Versuchsfelde zwischen Penarth und Flatholm im Bristolkanal wurden zwei Standorte eingerichtet und am 10. Mai begannen die denkwürdigen Versuche, die von Mr. Preece persönlich und seinen Ingenieuren Mr. Gavey und Mr. Cooper geleitet wurden.

Auf der etwa 20 m hohen Klippe von Lavernock Point, 1 Stunde von dem freundlichen Badeort Penarth entfernt, war ein 30 m hoher Mast errichtet, durch Drahtseile gehalten, über dessen Spitze ein zylindrischer Zinkhut von 2 m Höhe und 1 m Durchmesser gestülpt war. Von dem Zinkzylinder führte ein isolierter Kupferdraht bis zum Fuße des Mastes an den einen Pol des Empfängers. Der andere Pol war durch ein langes Drahtseil, die Klippe hinunter, mit dem Meere verbunden. Mitten im Kanal, 5 km entfernt von Lavernock Point, liegt das kleine Eiland Flatholm, auf seinen hohen Klippen mit Kanonen gespickt, zugleich der Standort eines Leuchtturmes. Dort war der Sendeort. In einem Bretterhäuschen stand der Strahlapparat mit einem verhältnismäßig kleinen Induktorium (25 cm Schlagweite) von einem 8zelligen Akkumulator gespeist. Die vollen Messingkugeln von 10 cm Durchmesser waren bis auf 2 mm genähert und durch eine Schicht Vaselinöl getrennt. Die äußeren Kugeln, gleichfalls voll, von etwa 4 cm Durchmesser, in einem Abstand von 10 mm von den inneren Kugeln, waren einerseits mit einer Kapazität auf einem Mast von genau gleichen Abmessungen wie in Lavernock Point, andererseits mit dem Meere verbunden.

Am ersten Versuchstage wurden zwei kilometerlange Drähte auf beiden Seiten über die Klippen gelegt, um nach dem älteren Verfahren von Mr. Preece eine Verbindung mit Fernsprechern herzustellen, was auch nach kurzer Zeit gelang. Am zweiten Tage sollte nach dem Marconi'schen Verfahren

Digitized by Google

telegraphiert werden. Zunächst gelang es nicht, Zeichen überhaupt zu erhalten. Man schrieb die Schuld den eisernen Drahtseilen zu, welche den Mast hielten und den Empfangsdraht wie einen Käfig umgaben. Als man am anderen Tage diesen um etwa 20 m verlängerte, um den Empfänger seitlich vom Mast entfernt aufzustellen, kamen die ersten aber noch undeutlichen Zeichen. Der volle Erfolg war erst am nächsten

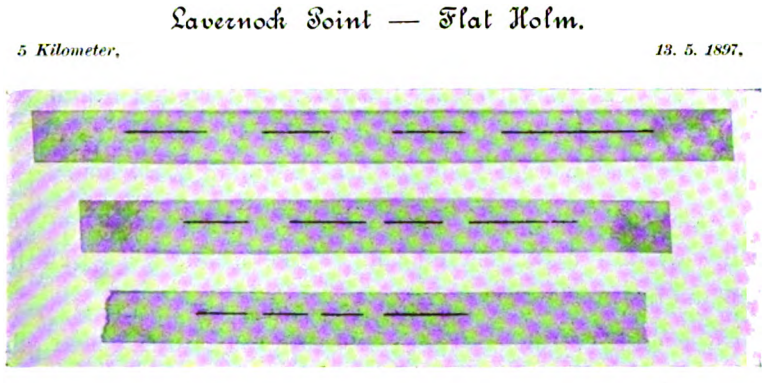


Fig. 83.

Tage vorhanden, nachdem man mit dem Empfangsapparat hinunter an den Strand gezogen war und damit die wirksame Länge des Drahtes fast verdoppelt hatte. Es wird mir eine unvergeßliche Erinnerung bleiben, wie wir, des starken Windes wegen in einer großen Holzkiste zu Fünfen übereinander gekauert, Augen und Ohren mit gespanntester Aufmerksamkeit auf den Empfangsapparat gerichtet, plötzlich nach Aufhissung des verabredeten Flaggenzeichens, das erste Ticken, die ersten deutlichen Morsezeichen vernahmen, lautlos und unsichtbar herübergetragen von jener felsigen, nur in undeutlichen Umrissen wahrnehmbaren Küste, herübergetragen

Digitized by Google

durch jenes unbekannte geheimnisvolle Mittel, den Äther, der die einzige Brücke bildet zu den Planeten des Weltalls. Es waren die Morsezeichen des v, welche der Verabredung gemäß herüberkamen und der Liebenswürdigkeit meiner Gastfreunde verdanke ich den Besitz dieser ersten Zeichen, welche in Fig. 83 durch Autotypie wiedergegeben sind.

Nach meiner Abreise wurden die Versuche fortgesetzt, und es gelang, wie mir Mr. Preece mitteilte, zwischen Lavernock Point und Brean Down, quer über die ganze Breite des Kanals (14,5 km) telegraphische Verständigung zu erzielen. Bei diesem Versuch wurden auf beiden Standorten Drachen benutzt, um die senkrechten Drähte zu halten. Wie lang dieselben waren, ist mir nicht bekannt geworden. —

Zurückgekehrt, ging ich sofort daran, meine eigenen Versuche wieder aufzunehmen, unter Verwendung Marconischer Luftdrähte.

Der erste Versuch, Ende Juni, bestand in der telegraphischen Verbindung dieses Hörsaales mit der chemischen Fabrik von A. Beringer, am Salzufer gelegen. Es stand dort ein Wasserturm zur Verfügung, um den Sendedraht zu befestigen. Der Versuch glückte sofort, doch zog ich es vor, denselben schleunigst abzubrechen, da eine Anfrage des Fernsprechamts einlief, ob am Salzufer örtliche Gewitter aufträten, die sämtlichen Linien dorthin seien gestört. Wir lagen also dort mit unserem Strahlapparat den Fernsprechdrähten zu nahe.

Die nächste Verbindung erfolgte mit dem Wohnhause eines meiner Assistenten an der Ecke der Berliner- und Sophienstraße. In einem Kellerraum des einstöckigen Hauses wurde der Strahlapparat aufgestellt. Die Entfernung in der Luftlinie beträgt etwa $^1/_4$ km, doch liegen zahlreiche hohe

Digitized by Google

Bäume dazwischen, welche die Strahlung durchdringen muß. Wir wollen heut Abend den Versuch wiederholen.

Hier im Saal steht der Empfänger mit dem Morseschreiber. Der eine Pol des Fritters ist mit der Wasserleitung verbunden, also an Erde gelegt; an dem anderen Pol ist ein isolierter Kupferdraht befestigt, der im Nebenzimmer zum Fenster hinausführt und mittels eines Porzellanisolators an der Dachkante des Hauses aufgehängt ist. Drüben am Sendeort ist ein gleicher Draht gut isoliert an der Spitze der Fahnenstange befestigt, die zugleich den Blitzableiter des Hauses bildet. Er führt frei durch die Luft bis in die Nähe des Erdbodens und von hier mittels isolierender Stützen in den Raum, wo der Strahlapparat steht, von gleichen Abmessungen wie der hier auf dem Tische befindliche.

(Es erfolgt die Aufnahme eines Telegramms.)

Zur wissenschaftlichen Erforschung der merkwürdigen Erscheinung genügen aber so geringe Entfernungen nicht. Ich war so glücklich, die Allerhöchste Erlaubnis zu erhalten, auf den Gewässern der Havel bei Potsdam und in den umliegenden Königlichen Gärten Versuche anstellen zu dürfen. Fast 2 Monate konnte ich auf diese Forschungen verwenden, unterstützt von den Mannschaften der Königlichen Matrosenstation.

Es waren die unterhaltendsten, angenehmsten Studien, die ich je betrieben, in dem herrlichen Laboratorium der Natur unter einem fast immer lachenden Himmel in paradiesischer Umgebung. Die planmäßig angestellten Versuche brachten uns, wenn auch keine Erklärung der Erscheinungen, so doch eine Fülle von Anregungen und wichtige Anhaltspunkte für die weitere erfolgreiche Ausdehnung der Funkentelegraphie.

Digitized by Google

Unser Hauptquartier war auf der Matrosenstation an der Glienicker Brücke. (Fig. 84.) Dort standen die Empfangsapparate. Der vorhandene Flaggenmast wurde wesentlich erhöht, so daß die oberste Spitze des blanken Empfängerdrahtes 26 m über dem Erdboden lag. Unser erster Sende-

Fig. 84.

ort war die Pfaueninsel, 3 km entfernt. Die Apparate, Batterien, Induktorien und Strahlapparate wurden in einem Zimmer des dortigen Schlosses aufgestellt. An der wohlbekannten eisernen Brücke, welche die beiden Türme des Schlosses verbindet (Fig. 85), wurde ein Mast befestigt zur Aufnahme eines senkrecht am Schloß heruntergeführten 26 m langen Drahtes, der an Isolatoren hängend durch das Fenster bis ins Zimmer geführt wurde. An beiden Orten war gute

Digitized by Google

Erdverbindung durch einen Draht hergestellt, der bis zur Havel ging und dort an einer großen im Wasser liegenden Zinkplatte verlötet wurde.

Die ersten Versuche, welche angestellt wurden, brachten kein befriedigendes Ergebnis. Wohl kamen Zeichen an, sie

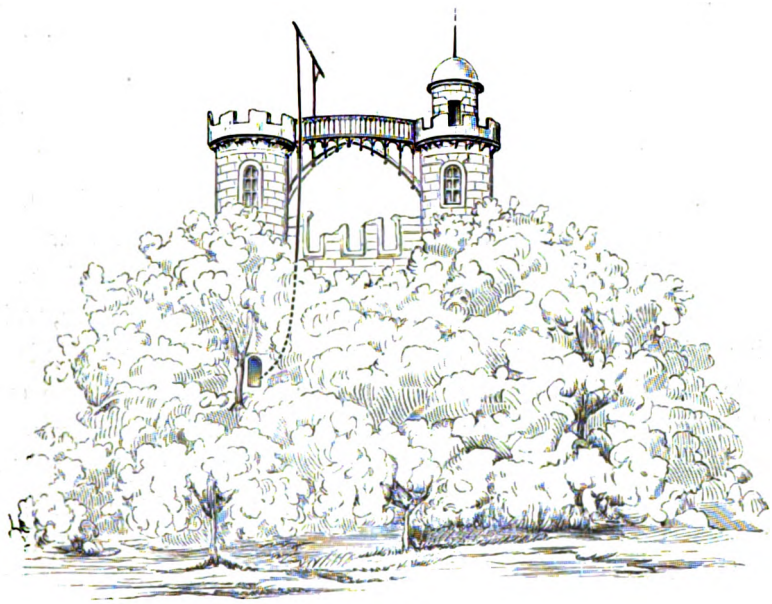


Fig. 85.

waren aber zerrissen und unleserlich. Dazu traten Störungen ganz unvorhergesehener Art, unregelmäßige Zeichen, die nicht gesandt waren. Besonders viel zu schaffen machten uns die letzteren. Da der Empfänger sie nur anzeigte, wenn sein Pol mit dem Luftdraht verbunden war, so mußte in diesem die Störungsquelle vermutet werden. An luftelektrische Ursachen dachte ich zunächst noch nicht, war doch die Luft klar und rein und ohne jede Gewitterschwüle. Bei den eng-

Digitized by Google

lischen Versuchen hatte ich allerdings die Wirkungen der Luftelektrizität kennen gelernt, aber sie waren sehr gering gewesen. Sobald man den Draht vom Empfänger gelöst und einige Zeit isoliert in der Hand gehalten hatte, sprach die Frittröhre an, wenn man den Kupferdraht wieder an den Pol legte, und zwar konnte man den Versuch drei bis vier Mal hinter einander wiederholen mit immer schwächer werdender Wirkung, bis diese ganz ausblieb. Dann mußte man einige Zeit warten, ehe man die Erscheinung wiederholen konnte. Wir hatten es offenbar mit elektrischen Ladungen aus der Luft in Folge der großen Kapazität an der Spitze des Drahtes zu tun. Die Wirkungen waren indeß so gering, daß sie das Telegraphieren nicht störten. Hier in Potsdam waren die Erscheinungen viel stärker, obwohl die große Kapazität an den Enden der Drähte fehlte. Ich hatte sie fortgelassen, weil ich an ihre Wirkung von Anfang an nicht glaubte. Zudem hatte mir Kapitän Jackson von der englischen Marine erzählt, daß er zwischen zwei Schiffen auf 2 km Entfernung mit einfachen Drähten, die ohne Kapazität am Mast hochgebracht waren, telegraphieren konnte. Ich will Sie mit den vielen erfolglosen Versuchen, die vorgenommen wurden, den Übeltäter zu entdecken, nicht ermüden. Es wurde endlich außer Zweifel gestellt, daß wir es tatsächlich mit Luftelektrizität zu tun hatten, die sich aber nur deshalb so störend bemerkbar machte, weil unser elektrisches Auge allzu empfindlich war. Es enthielt zu feines und ungleichmäßiges Pulver und zuviel Silber. Dies führte zu einer völligen Umgestaltung unserer Frittröhren, wir machen sie seitdem mit gröberen sorgfältig ausgesuchten Körnern und ohne Silber. Im Laboratorium hatten unsere Fritter vorher vortrefflich gearbeitet, wir freuten uns über ihre große Empfindlichkeit, im Freien versagten sie. Die Natur zwang uns, ihre eigene, un-

Digitized by Google

erwünschte Telegraphiertätigkeit durch Anwendung gröberer Mittel außer Dienst zu stellen.

Der andere Übelstand, das Zerreißen unserer Zeichen, konnte nicht so schnell beseitigt werden. Da die Pfaueninsel von der Matrosenstation aus nicht gesehen werden kann, war eine Verständigung durch Flaggenzeichen nicht möglich, der

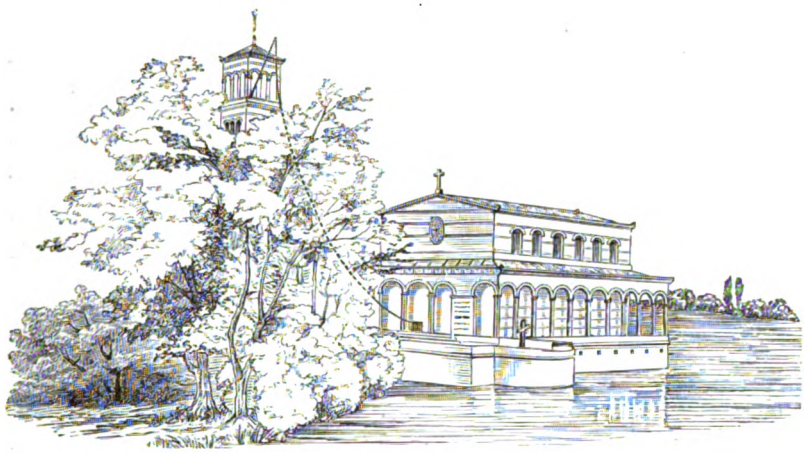


Fig. 86.

Verkehr durch Boten zu zeitraubend und mühevoll. Ich nahm deshalb zunächst die Studien mit einem günstiger gelegenen Sendeort auf, mit der Sacrower Heilandskirche, welche 1,6 km in der Luftlinie von der Matrosenstation entfernt und sichtbar ist, so daß eine Verständigung durch Flaggenzeichen möglich war. Durch die Güte des Kommandeurs der Luftschifferabteilung, Herrn Majors Nieber, kam ich später in den Besitz eines Fernsprechkabels, welches durch die Havel gelegt wurde, so daß die Versuche nunmehr schneller aufeinander folgen konnten.

Die Lage der Sacrower Kirche ist Ihnen bekannt (Fig. 86) Seitlich von der Basilika steht der Glockenturm, der un-

Digitized by Google

mittelbar unter seinem Dach eine Plattform trägt. Dort wurde ein Mast befestigt und an seiner äußersten Spitze, 23 m über dem Erdboden, mit Hülfe eines Porzellanisolators der isolierte Kupferdraht aufgehängt. Zur Aufstellung des Strahlapparates wählten wir den Säulengang der Kirche, um bei Regenwetter geschützt zu sein. Das war unser Glück, eine andere Anordnung, die später gewählt wurde, hätte uns nicht sofort zum Ziele geführt.

Die in Sacrow aufgegebenen Telegramme kamen auf der Matrosenstation mit tadelloser Klarheit und Bestimmtheit an. Die atmosphärischen Störungen waren durch die unempfindlicheren Frittröhren endgiltig beseitigt; das Zerreißen der Morsestriche hatte aufgehört. Nur manchmal, wenn Spreekähne mit ihren großen aufgespannten Segeln in unmittelbarer Nähe der Kirche vorüberfuhren, gab es einige zerrissene Morsestriche, die aber immerhin noch zu lesen waren. Einmal allerdings wurden wir durch Undeutlichkeit der Zeichen in lebhafte Bestürzung versetzt. Es war gerade an dem Tage, an welchem S. M. der Kaiser die Einrichtungen besichtigen wollte. Kurz vor Toresschluß gelang es uns erst, die Ursache der Störungen zu beseitigen. Wir hatten, um gegen etwaigen Regen besser geschützt zu sein, den Strahlapparat tiefer in den Eingang der Kirche gerückt, dabei war der Sendedraht, welcher stark durchhing, auf etwa 2 m Länge, dem Fliesenboden der Kirche auf etwa 30 cm nahe gekommen. Spätere Versuche haben uns deutlich gezeigt, daß jede parallele Lage eines Teiles des Drahtes in der Nähe des Erdbodens verhängnisvoll ist. Es gibt eine gewisse Mindestentfernung, bei der die elektrischen Strahlen nicht mehr in den Raum, sondern direkt zur Erde übergehen. Nachdem wir den Draht verkürzt und straffer angezogen hatten, war die Störung beseitigt. Das Telegraphieren gelang vorzüglich, S. M. der

Digitized by Google

Kaiser gab selber ein Telegramm auf und konnte sich bei der Rückkehr nach der Matrosenstation von der sicheren Ankunft desselben überzeugen.

Weitere Versuche an der Sacrower Kirche ergaben ein wichtiges Resultat. Als ich den Sendedraht senkrecht am Glockenturm herunterführte zu dem am Eingang des Turmes aufgestellten Strahlapparat, blieben die Zeichen vollkommen aus. Nach längeren Versuchen erst wurde die Hinderungsursache erkannt und damit zugleich eine Erklärung des anfänglichen Mißerfolges mit der Pfaueninsel gewonnen. In unmittelbarer Nähe des Glockenturmes befanden sich hohe Baumgruppen, welche den vertikalen Draht fast völlig verdeckten, so daß man von der Matrosenstation mit einem Fernrohr nur das oberste Stück des Drahtes erkennen konnte. Die von dem Draht ausgehenden Strahlen wurden ebenso wie die Lichtstrahlen von der Baumgruppe verschluckt bezw. zur Erde abgeleitet. Die Hauptbedingung für das Gelingen der Funkentelegraphie ist, daß alle Hindernisse, welche sich in der Nähe vor dem Sendedraht befinden, beseitigt werden, die beiden Drähte, am Sender und Empfänger müssen sich gleichsam sehen können. Wie lagen die Verhältnisse nun bei der Pfaueninsel? In ein Meßtischblatt der Generalstabsaufnahme wurde die Verbindungslinie der Apparate eingetragen. Dieselbe schnitt nicht nur eine bewaldete als Landzunge vorspringende Anhöhe, sondern eine ganze Gebäudegruppe, den Jägerhof im Park von Glienicke. Durch diesen mußten die Strahlen hindurch und es erklärt sich dadurch ihre auffallende Schwächung.

Zuerst hatte ich den Blitzableiter auf dem Schloß der Pfaueninsel als Störenfried im Verdacht gehabt. Ich ließ seine Erdverbindung herausnehmen — ohne Erfolg. Sodann zog ich mit meinem Empfänger weiter nach Westen, in die

Digitized by Google

Nähe der Marmorbank im Neuen Garten. An einem hohen Baume hatten die flinken Matrosen bald einen Mast befestigt, dessen Spitze 23 m über der Erde war. Nun lag zwischen den beiden Drähten die bewaldete und bebaute Landzunge nicht mehr im Wege. Das Ergebnis war besser, aber noch nicht zufriedenstellend. Auf der Pfaueninsel waren noch Baumgruppen vor dem Draht, welche ihn verdeckten. Ich ließ den Draht von dem Mast am Schloß mit einer geringen Neigung zunächst an einen Flaggenmast führen, unmittelbar an dem erhöhten Ufer der Pfaueninsel, von dort herunter zum Ufer an den Strahlapparat. Jetzt lag der Draht ganz frei, er war sichtbar, aber seine Länge war angewachsen auf 65 m, während die Länge des Empfängerdrahtes nur etwa 26 m betrug. Die Zeichen wurden wiederum deutlicher, aber noch nicht völlig bestimmt. Wenn zahlreiche hohe Segel, oder noch schlimmer, wenn Dampfer mit stark aufsteigendem Qualm dazwischenkamen, so zerrissen wieder die Morsezeichen. Nun schritt ich zur letzten Veränderung. Ich machte den Empfängerdraht von gleicher Länge, 65 m. Dazu mußte ich auf die Havel hinaus; auf einem Prahm, durch ein Zelt geschützt, wurde der Apparat aufgestellt. Sofort kamen die Zeichen tadellos, nicht mehr zerrissen durch Segel oder Rauch.

Verlängerung, Sichtbarmachung der Drähte und Abstimmung auf gleiche Länge hatten den Erfolg bewirkt. Ungeändert war dagegen die Höhe der Aufhängepunkte geblieben. Was war nun das Wesentliche? Um dies zu entscheiden, zog ich wieder zur Matrosenstation zurück und arbeitete auch dort mit einer Drahtlänge von 65 m auf einem Prahm. Mit einem Mal war Alles in schönster Ordnung, die Zeichen von der Pfaueninsel kamen so sicher und genau, wie in den Räumen des Laboratoriums.

Digitized by Google

Deutlich haben die Versuche gezeigt, daß den ausschlaggebenden Einfluß Länge und Gleichheit der Drähte besitzen. Dazwischenliegende Hindernisse stören zwar, lassen sich aber überwinden, wenn man die Drähte nur genügend lang machen kann.

Besondere Versuche wurden angestellt, um zu sehen, ob senkrecht ausgespannte Drähte vor dem Empfängerdraht die Aufnahme stören. Der Flaggenmast auf der Matrosenstation wird durch eine ganze Reihe von eisernen Drahtseilen gehalten. Ich stellte den Empfänger, der bis dahin immer seitlich von dem Flaggenmast angebracht war, weil ich den Einfluß der Drahtseile fürchtete, dicht an den Mast, so daß die Drahtseile den Apparat wie ein eiserner Käfig umgaben: Die sichere Zeichengebung von der Sacrower Kirche wurde dadurch nicht gestört. Ich muſs bemerken, daſs alle Drahtseile mit Ausnahme eines einzigen Erdschluſs hatten, wie durch Messung festgestellt wurde. Nur ein einziges und zwar das vorderste, welches dicht am Ufer befestigt war, hatte ich durch ein eingeschaltetes kurzes Hanfseilstück von der Erde isoliert; ein zweites unmittelbar dahinter liegendes, im Abstand von wenigen Zentimetern zum ersteren fast parallel laufendes, hatte gute Erdverbindung. Ich hatte das vordere Drahtseil isolieren lassen, um dasselbe geeignetenfalls als Empfängerdraht benutzen zu können. Dies glückte auch, aber die Wirkungen waren auffallend schwächer und die Zeichen nicht immer ganz vollständig. Ich lernte hier zuerst die mangelhafte Wirkung des Eisens als Material für den Empfängerdraht sowie die Schädlichkeit des Dralls kennen, wovon weiter unten noch die Rede sein wird.

Ein geringer Drall hat keinen nachteiligen Einfluß. Dies zeigte ein Versuch mit blankem Kupferdraht, den ich in einigen Windungen um den hölzernen Flaggenmast herum-

Digitized by Google

führte, ehe ich sein Ende mit dem Apparat verband. Ich erhielt keine Schwächung der Zeichen, auch dann nicht, als ich ein Stück des Drahtes zu einer Spule aufwickelte mit 40 Windungen.

Ein in den Empfängerdraht eingeschalteter Widerstand von 100 Ohm ließ gleichfalls keine Schwächung der Zeichen erkennen. Eine Erhöhung dieses Widerstandes auf 1000 Ohm schwächte dieselben dagegen erheblich und machte sie fast unleserlich.

Schließlich möchte ich hier noch eine Tatsache erwähnen, die uns mehrfach entgegentrat, aber nicht völlig aufgeklärt werden konnte. Bei den Versuchen, sowohl mit Sacrow als mit der Pfaueninsel, bei denen abgerissene Zeichen überhaupt auftraten, konnten wir eine Zunahme der Störungen bemerken, sobald das Wetter windig wurde. Ich vermute, daß die Bewegung der Blätter an den Bäumen, welche die Strahlen auf ihrem Wege zu durchdringen hatten, einen größeren und wechselnden Widerstand herbeiführte. Es wäre auch möglich, daß bewegte Luft die Ladung des Drahtes beschleunigt. Ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit konnte niemals beobachtet werden, Nebel oder Regenwetter störten die Zeichengebung nicht.

Bei den Versuchen in Potsdam verfolgte ich lediglich den Zweck, mich zunächst mit den Erscheinungen der Funkentelegraphie näher vertraut zu machen, wichtige Grundbedingungen für das Gelingen kennen zu lernen, die Apparate zweckentsprechender auszubilden und mich in der Handhabung derselben zu üben. Die Grenzen der Verwendbarkeit festzustellen, weite Entfernungen zu überwinden, das war nicht die Aufgabe, die ich in Potsdam zu lösen gedachte. Dafür waren von vornherein andere, günstigere Örtlichkeiten und Mittel ins Auge gefaßt. Es wurde darum auch die

Digitized by Google

Frage zunächst außer Acht gelassen, wie etwa die Funkengebung am Strahlapparat wirkungsvoller zu gestalten wäre. Ich arbeitete in Potsdam immer mit denselben bescheidenen Mitteln: mit einem Funken-Induktor von Siemens & Halske für 25 cm Schlagweite, einer Akkumulatorenbatterie von 8 Zellen und dem hier stehenden Strahlapparat, dessen Abmessungen aus Fig. 76 hervorgehen. Der Abstand der großen Kugeln betrug beständig 2 mm in Öl, die kleineren äußeren Kugeln waren in wechselnder Entfernung von 3 bis 15 mm. Einen Einfluß der Länge der äußeren Funken konnte ich bei der geringen Entfernung nicht mit Sicherheit erkennen. Die Einstellung erfolgte immer so, daß die Funken im Öl möglichst gleichmäßig und mit weißlichem Lichte auftraten. —

Ehe ich nun zu den größeren Entfernungen übergehe, will ich kurz über einige Versuche berichten, welche Marconi im Juli dieses Jahres in Spezia mit Unterstützung der italienischen Marine angestellt hat, und über welche im Septemberheft der Rivista marittima ausführliche Mitteilungen erfolgt sind.

Die Versuche erstreckten sich über den Zeitraum vom 10. bis 18. Juli. An den ersten 3 Tagen wurden Versuche am Lande ausgeführt, eine telegraphische Verbindung auf 3,6 km gelang vortrefflich.

Am 14. Juli telegraphierte man von dem Arsenal S. Bartolomeo nach einem in Fahrt befindlichen Schleppdampfer. Der Strahlapparat stand in S. Bartolomeo mit einem Luftdraht (Kupferkabel von 10 qmm Querschnitt) von 26 m Länge, an einem Mast befestigt. Funkeninduktor von 25 cm Schlagweite, erregt durch einen 4 zelligen Akkumulator. Die inneren Kugeln des Strahlapparates hatten einen Durchmesser von 10 cm, die äußeren von 5 cm.

Digitized by Google

Der Empfängerdraht am Mast des Schleppdampfers von 16 m Länge und 10 qmm Querschnitt. Sende- und Empfängerdraht beide mit Kapazitäten an der Spitze in Form von Zinktafeln $0{,}4 \times 0{,}4$ m. Erdverbindung an beiden Orten durch Platten im Meer. Die telegraphische Verständigung wurde ermöglicht bis auf eine Entfernung von 4 km. Bei der Weiterfahrt des Dampfers versagte sie. Man schrieb den Mißerfolg einer mangelhaften Bedienung des Tasters am Strahlapparat sowie luftelektrischen Einflüssen zu.

Am 15. Juli wurde der Versuch in gleicher Weise wiederholt, nachdem man den Mast in S. Bartomoleo auf 30 m erhöht hatte. Bei der Abfahrt des Dampfers gab der Empfänger fortgesetzt Zeichen, obwohl der Sender noch nicht in Betrieb gesetzt war. Man schrieb dies Gewitterwolken zu, welche in der Ferne auftauchten. Die Versuche wurden erst wieder aufgenommen, nachdem das Wetter sich geklärt. Es wurden lesbare Depeschen gesandt bis auf eine Entfernung von 5,5 km. Die Fahrt des Dampfers wurde darauf so gerichtet, daß eine Landzunge (Castagna) sich zwischen Sender und Empfänger legte. Die Zeichen wurden sofort unklar und unleserlich.

Am 16. Juli versuchte man unter den gleichen Bedingungen wie am 15. Es war klares Wetter. Die Zeichen blieben gut bis auf 7,48 km, bis 9 km konnten noch einige entziffert werden.

Am 17. und 18. Juli trat an die Stelle des Schleppdampfers das Panzerschiff S. Martino. Der Luftdraht in S. Bartomoleo wurde auf 34 m erhöht, die Stromquelle des Induktors durch einen 5 zelligen Akkumulator gebildet. Der Empfängerdraht an Bord am Mast befestigt 17 m hoch, 22 m über Meer.

Am 17. Juli wurde das Panzerschiff 3,2 km von S. Bartolomeo verankert. Der Empfänger wurde an den verschie-

Digitized by Google

densten Stellen des Schiffes aufgestellt; auch im Innern des Schiffes, in der Nähe der Maschine. Die telegraphische Verständigung war durchweg eine gute, auch als der Apparat in die untersten Räume des Schiffes gebracht wurde, war sie noch vorhanden, wenn auch weniger gut.

Die interessantesten Versuche fanden am 18. Juli statt. Das Panzerschiff in Fahrt, alle übrigen Bedingungen dieselben wie am Tage vorher. Bei der Ausfahrt glückte die telegraphische Verständigung bis auf 12,5 km, dann wurde sie mangelhaft. Das Schiff wendete, doch bei 10 km konnten erst wieder leidliche Zeichen (buoni se non ottimi ancora) erhalten werden.

Nach einer Pause fuhr das Panzerschiff 6 km von S. Bartolomeo wieder nach außen. Die telegraphische Verständigung war vollkommen bis auf 16,3 km. Von da ab kamen Unterbrechungen und Störungen, doch glückte es, einige Wörter noch bei 18 km zu entziffern. Der Empfänger stand hierbei am hinteren Ende des Schiffes. Als man wendete, kamen die eisernen Masten und Türme des Schiffes zwischen Empfänger und Sender. Hierin vermutete man die Ursache, daß erst bei 12 km wieder die ersten unbestimmten Zeichen erhalten werden konnten. Die Fahrt des Schiffes wurde nun so gesteuert, daß Inseln (Tino und Palmaria) sich dazwischen legten, die Verständigung hörte auf, obwohl die Entfernung zwischen Sender und Empfänger nur 7—8 km betrug. Erst als die Luftlinie frei war, kamen bei 6,5 km wieder gute Zeichen. —

Diese Versuche bestätigen vollkommen die Erfahrungen, die ich auf der Pfaueninsel gemacht habe. Auch dort schwächte die zwischenliegende Landzunge des Jägerhofs die Wirkung der Strahlen, erst die durch Verlängerung des Drahtes verstärkte Wirkung gestattete die Überwindung des

Digitized by Google

Hindernisses. Lehrreich ist ferner die Zunahme der Übertragungsweite mit der Verlängerung (hier ausschließlich Erhöhung) der Drähte.

Nach den in Potsdam gesammelten Erfahrungen hielt ich die Anwendbarkeit der Funkentelegraphie auch auf größere Entfernungen für vollkommen sicher, falls es gelang, möglichst hohe und lange Sende- und Empfängerdrähte zu benutzen.

Es ist auf die eigenste Anregung Sr. Majestät des Kaisers zurückzuführen, daß sich die Luftschifferabteilung zur Verfügung stellte.

Ein Vorversuch auf dem Tempelhoferfelde hatte den Zweck, die leitenden Offiziere mit Art und Ausführung der Versuche bekannt zu machen. Zugleich sollte festgestellt werden, ob wir kräftige Funkenentladungen in das Fesselseil ohne Gefahr für das Luftschiff hinaufschicken durften; denn es bot sich als einfachstes Mittel die Benutzung dieser Stahlseile als Sende- und Empfängerdrähte dar. Zu dem Ende wurden zwei mit Leuchtgas gefüllte Luftschiffe an Seilen befestigt, deren oberste Teile in der Länge von 20 m aus Hanf bestanden, um das Überspringen von Funken auf das Luftschiff mit Sicherheit zu verhüten. Der mittlere Teil der Fesselseile bestand aus 100 m Drahtseil, wie es für gewöhnlich benutzt wird, der unterste Teil bis zur Winde wieder aus 20 m Hanfseil, um das Drahtseil tunlichst von der Erde zu isolieren. Von dem unteren Ende des Drahtseiles führte blanker Kupferdraht zu einem Pol der Apparate, die auf freiem Felde aufgestellt waren und deren anderer Pol mit Hülfe eines in den Boden gesteckten Säbels an Erde gelegt wurde. Der Sender befand sich in der Nähe von Rixdorf, der Empfänger 3 km davon entfernt in der Nähe des Übungsplatzes der Luftschifferabteilung in Schöneberg. Die Ver-

Digitized by Google

bindungen mit dem Luftschiff waren an beiden Orten völlig übereinstimmend. Es ist vielfach vermutet worden, daß die Telegraphenapparate in den Tragkörben der Luftschiffe untergebracht gewesen seien, um von oben nach unten Telegramme zu senden. Das wäre vollständig überflüssig, da eine bessere Verbindung der Luftschiffer mit der Erde als die jetzt übliche durch Fernsprecher, nicht erforderlich ist. Das gefesselte Luftschiff hat bei den vorliegenden Versuchen lediglich die Rolle eines Trägers der Luftdrähte übernommen, es brauchte nicht bemannt zu werden. Wollte man die Apparate im Korbe unterbringen, so müßte unter allen Umständen noch eine zweite Leitung zur Erde geführt werden. Bei heftigem Winde könnten beide Leitungen sich berühren und dadurch Störungen veranlassen. Zudem scheint mir auch die Unterbringung des Strahlapparates mit seinen kräftigen Funken in unmittelbarer Nähe des Luftschiffes nicht ungefährlich. Irgend welche Metallteile an demselben könnten die Rolle eines unerwünschten „Resonators" übernehmen und durch Funkenbildung das Gas entzünden.

Die Kapazität der dicken Drahtseile war sehr viel größer als diejenige der bisher benutzten dünnen Kupferdrähte, so daß wir am Strahlapparat nur verhältnismässig schwache Funken erzeugen konnten. Eine Verstärkung des Funkengebers war mit Absicht unterblieben. Trotzdem arbeitete die Einrichtung vollkommen zufriedenstellend, die Wirkungen auf den Empfänger waren sogar viel zu kräftig, so daß wir unsere unempfindlichsten Frittröhren benutzen mußten. Störungen durch Luftelektrizität waren allerdings vorhanden, doch waren sie von kurzem Verlauf, sie zeigten sich auf den Morsestreifen durch Punkte an und störten die eigentlichen Zeichen nicht, die aus kurzen und langen Strichen gebildet wurden.

Digitized by Google

Ich war jetzt meiner Sache sicher und beschloß, sofort auf Entfernungen überzugehen, weiter als alle bisher erreichten. Als passender Ort bot sich Rangsdorf dar, an der Militärbahn in der Nähe von Zossen gelegen und 21 km in der Luftlinie von Schöneberg entfernt. Die Beförderung des Luftschiffes, der Wasserstoffflaschen, der Apparate und der Mannschaften war durch die Militärbahn wesentlich erleichtert. Außerdem stellte uns das Kommando derselben in dankenswertester Weise eine Fernsprechleitung zur Verfügung, so daß man sich jederzeit leicht verständigen konnte. Rangsdorf war der Sendeort. Die eigentlichen Versuche umfaßten 3 Tage und währten jedesmal von 10 bis 3 Uhr. Im Folgenden will ich die wichtigsten Ergebnisse kurz zusammenstellen.

Dienstag, den 5. Oktober.

Wetter. Nach mäßigen Niederschlägen am Abend vorher, war in der Nacht Aufklärung eingetreten. Wolkenloser Himmel bis 10 Uhr, dann geringe Bewölkung. Am Morgen starker Tau. Temperatur ca. 8° C. Barometerstand 770,5. Luftfeuchtigkeit ca. 70 %. Steifer Ostwind.

Des starken Windes wegen wurden Drachenluftschiffe (System von Sigsfeld) mit Wasserstofffüllung benutzt, von der Winde 500 m Drahtseil abgelassen, am Luftschiff und an der Winde je 20 m Hanfseil eingeschaltet. Das Luftschiff in Rangsdorf war mit einem Höhenmesser ausgerüstet. Die Schwankungen in der Höhenlage waren ziemlich beträchtlich, im Mittel stand das Luftschiff 300 m über dem Erdboden.

Sender und Empfänger waren durch isolierten Kupferdraht von 1 mm Durchmesser mit den unteren Enden des Drahtseils verbunden. Erdverbindung in Rangsdorf: Kupferplatte im angefeuchteten Erdreich, in Schöneberg: Säbel in die Erde gesteckt. Infolge der großen Kapazität des Drahtseils ließen

Digitized by Google

sich am Strahlapparat nur kleine Funken einstellen. Ölfunken 1 mm, äußere 2 mm.

Beim Befestigen der Luftdrähte an den Polen der Apparate empfingen wir heftige elektrische Schläge, selbst beim Berühren der Isolation mit dicken Lederhandschuhen. Beim Losreißen der Drähte, durch den heftigen Wind einigemal verursacht, gab es ein wildes Durcheinanderspringen der herumstehenden Mannschaften, um nicht von dem hin und hergepeitschten Draht getroffen zu werden. Glückte es, ihn einzufangen, so wurde er sofort mit einem Säbel an Erde gelegt.

Das Ergebnis in Schöneberg war ganz unbefriedigend. Einige Zeichen kamen zwar an, aber zerrissen und unbestimmt. Selbst wenn nicht telegraphiert wurde, arbeitete der Apparat unaufhörlich in Strichen und Punkten, lediglich infolge heftig abströmender Luftelektrizität. Es wurde uns sofort klar, daß diese Störungen auf die große Kapazität des Drahtseils zurückzuführen waren, die zudem in Rangsdorf die Funken schwächte.

Mittwoch, den 6. Oktober.

Wetter im allgemeinen unverändert. Himmel bewölkt. Temperatur 7° C. Barometerstand 769,9. Luftfeuchtigkeit 63 %. Kalter Nordost.

Die Luftschiffe standen zunächst mit 300 m Drahtseil, von 1 Uhr ab mit 400 m, ihre Höhe betrug nach Ausweis des Höhenmessers 200 m bezw. 280 m. Schwankungen in der Höhenlage waren noch vorhanden, aber geringer als am Vortage.

Als Empfangsdraht diente ein Fernsprechkabel aus Stahl (Doppeldraht mit Drall), wie sie bei der Luftschifferabteilung für den Verkehr vom Luftschiff zur Erde im Gebrauch sind. Dieses Kabel war am Korbe des Luftschiffes mit Hanfseilen

Digitized by Google

befestigt; das untere Ende mit einem Pol der Apparate verbunden. Das Fesselseil, diesmal ohne die Hanfseilansätze, hatte metallische Berührung mit der Winde, deren Erdverbindung durch besondere Drahtseile verbessert wurde. Wir hofften durch diese Einrichtung die luftelektrischen Störungen abzuschächen bezw. vom Empfangsdraht abzuhalten. Trotzdem waren dieselben in unverminderter Stärke vorhanden; man konnte die Fernsprechkabel, wenn sie frei hingen, nicht berühren ohne die heftigsten elektrischen Schläge, aber weniger andauernd. Die Wirkung am Empfänger war dagegen wesentlich gebessert. Die einzelnen Zeichen waren deutlich zu erkennen, die Morsestriche indessen noch häufig unterbrochen und abgerissen. Die luftelektrischen Störungen gaben sich in zahlreichen Punkten auf dem Morsestreifen kund. Immerhin war die durch Verminderung der Kapazität der Drähte erzielte Besserung unverkennbar.

Ein Weiterschreiten auf dem betretenen Wege führte am dritten Tage zum vollen Gelingen.

Donnerstag, den 7. Oktober.

Wetter. Weniger rauh. Himmel ganz bewölkt. Temperatur 6° C. Barometerstand 769,4. Luftfeuchtigkeit 55 %. Wind Nordwest.

Das Zerreißen der Zeichen am Vortage führte ich nach den in Potsdam gemachten Erfahrungen auf den Stahldraht des Fernsprechkabels und seinen Drall zurück. Wir ersetzten dasselbe durch umsponnenen Kupferdraht von 0,46 mm Durchmesser. Damit war auch eine weitere Verminderung der Kapazität verbunden.

Beim ersten Zeichen, welches vom Empfänger aufgenommen wurde, lag der Erfolg offen zu Tage. Dasselbe kam mit verblüffender Sorgfalt und Klarheit. Wir hatten die Störenfriede

Digitized by Google

entdeckt und endgültig beseitigt: die große Kapazität, das Eisen und den Drall.

Die senkrechte Höhe des Luftschiffes betrug nach dem Höhenmesser 250 bis 280 m. Die Luftelektrizität wirkte genau so heftig wie früher, man konnte den freihängenden Kupferdraht nicht ohne Strafe berühren. Dennoch störte sie die ankommenden Zeichen nicht mehr. Fig. 87 gibt eines

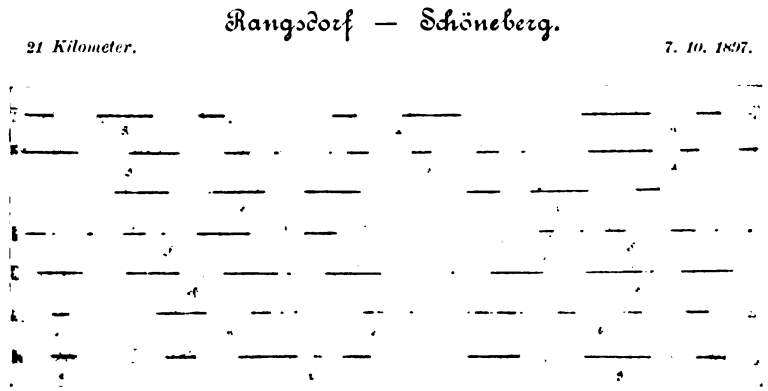


Fig. 87.

der ersten Telegramme, man erkennt darin deutlich die Störungen durch Luftelektrizität, es sind winzige Punkte, die nicht mehr im Stande sind, die Deutlichkeit der Morsezeichen zu beeinträchtigen.

Auf alle Beteiligten machten diese Versuche den Eindruck, daß die Grenze der Übertragungsmöglichkeit mit den vorhandenen Mitteln bei weitem noch nicht erreicht sei. Ich verstehe darunter diejenige, bei welcher ein regelmäßiger Depeschendienst noch möglich ist. Bedenkt man nun, daß die Höhe des Luftdrahtes bei Benutzung von Fessel-Luftschiffen mit Leichtigkeit auf 1000 m ausgedehnt werden kann, daß ferner für die Verstärkung der Funken am Strahlapparat bis

Digitized by Google

jetzt so gut wie nichts geschehen ist, so wird man einer weiteren Ausdehnung der Funkentelegraphie auf große Entfernungen eine günstige Zukunft nicht absprechen können.

Bisher hat man zur Erzeugung der Funken nur Induktorien benutzt, deren Schlagweite 30 cm nicht überstieg. Hier sehen Sie ein Induktorium, welches Funken bis 50 cm liefert, ich habe dasselbe bei den Versuchen nur deshalb nicht verwendet, weil es zu schwer ist. Auch wollte ich bisher nur die Grundbedingungen erforschen, was mit kleineren Mitteln ebenso gut erreichbar ist. Das Induktorium ist ein physikalischer Apparat. Die Elektrotechnik hat uns gelehrt, wie man Funkenentladungen mit maschinellen Hilfsmitteln erzeugen kann, deren Mächtigkeit die dünnen Entladungen der Induktorien vollkommen in den Schatten stellt. Da das Studium dieser Einrichtungen noch nicht völlig abgeschlossen ist, will ich heute darauf nicht näher eingehen, doch will ich Ihnen solche Funkenentladungen vorführen, die durch eine 3 pferdige Wechselstrom - Maschine und einen Transformator für 25 000 Volt erzeugt sind. (Experiment.) Sie sehen deutlich, mit welch gewaltigen Kräften wir es hier zu tun haben.

Ich bin häufig gefragt worden, in welcher Richtung und Ausdehnung eine Verwendung der Funkentelegraphie möglich sein wird. Unsere Kenntnis der in Betracht kommenden Erscheinungen ist bis jetzt eine sehr bescheidene, wir stehen in den allerersten Anfängen, wer wollte heut schon sagen, wie weit und wohin der Weg uns führt. Ich werde mich wohl hüten, vor Ihnen Zukunftsbilder zu entrollen, doch glaube ich mit Sicherheit behaupten zu können, daß die neue Telegraphie für gewisse Verwendungszwecke heute schon reif und beachtenswert ist. Die wichtigsten scheinen auf militärischem Gebiet zu liegen. Belagerte Festungen, vorrückende Armeen, die den Feind zwischen sich haben, könnten sich heute schon

Digitized by Google

der Funkentelegraphie als eines Verständigungsmittels bedienen, welches gleich sicher wirkt am hellen Tage wie bei Nacht und Nebel, allerdings nur bei Benutzung von Luftschiffen, denn die durch Türme, Masten oder hohe Bäume erreichbaren Entfernungen dürften in diesem Falle kaum ausreichen. Größere Heeresmassen sind heut in der Regel mit diesem wichtigen Beobachtungsmittel bereits ausgerüstet.

Gleich naheliegend erscheint der Nutzen für die Marine. Versuche des letzten Sommers haben die Verwendbarkeit von Fessel-Luftschiffen auf hoher See außer Frage gestellt. Es müßte doch wertvoll sein, wenn in einem Kriegsfalle die Schiffe der Nord- und Ostsee in ständiger telegraphischer Verbindung blieben.

Ebenso nahe liegt die Verwendung für Leuchttürme und Feuerschiffe. Die Empfangsapparate lassen sich unschwer in handlicher Form, nicht umfangreicher als ein Chronometer, ausbilden. Sie würden bei Annäherung an einen Leuchtturm nicht nur Zeichen geben, sondern auch den Namen des Leuchtturmes aufschreiben können, es erscheint sogar ausführbar, die Empfangsapparate mit einer verstellbaren Regelung für die Empfindlichkeit zu versehen, welche die Ablesung der Entfernung des Leuchtturmes gestattet. Doch ich fange an, Zukunftsbilder zu entrollen und Sie werden mich Lügen strafen.

Bescheidener, aber nicht unwichtig sind einige Anwendungen, die man in England plant. Dort gibt es einzelne Inseln in der Nähe des Festlandes, die zum Teil Badeörter oder Verteidigungswerke besitzen und für kurze Zeit oder in geringem Umfange eines telegraphischen Verkehrsmittels bedürfen. Die Legung eines Kabels würde zu kostspielig werden, schon mit Rücksicht auf die Zerstörungen durch Ebbe und Flut, die einen baldigen Verschleiß des Kabels bedingen. So will Mr. Preece in nächster Zeit die Inseln Guernsey und

Digitized by Google

Sark durch den Funkentelegraphen verbinden. Für durchaus möglich halte ich die Funkentelegraphie zwischen Dover und Calais. Wie die Zeitungen melden, ist die englische Telegraphenverwaltung mit solchen Versuchen eifrig beschäftigt.

Nun komme ich zu einer Frage, die gleichfalls häufig erörtert wird. Die von einem Sendedraht ausgehenden elektrischen Wellen verbreiten sich gleichmäßig nach allen Richtungen des Raumes. Jeder Empfangsapparat wird davon getroffen und bei geeigneter Empfindlichkeit wird er ansprechen. Jedes Telegramm wird also eigentlich der ganzen Welt mitgeteilt. Das ist unbestreitbar richtig und darin liegt die schwächste Seite der Funkentelegraphie, welche ihre Anwendbarkeit auf ganz besondere Fälle beschränkt.

Für die praktische Verwendung bleibt zunächst nur das Auskunftsmittel der verabredeten Zeichen, falls man sich gegen das Mitlesen der Depeschen sichern will. Die Telegraphie im Kriege würde allerdings sofort unmöglich gemacht, wenn ein feindlicher Strahlapparat eine dauernde Störung der Zeichen bewirkte. Es gäbe einen interessanten Kampf in den Wellen des Äthers.

Trotz dieser unleugbaren Mängel wollen wir uns aber die Freude an der neuen Funkentelegraphie nicht verkümmern lassen. Wir stehen vor ganz eigenartigen Erscheinungen, die ein neues Gebiet der technischen Anwendung soeben erst erschließen. Auch hier wird der Fortschritt nicht ausbleiben. —

Bei den besprochenen Versuchen waren die Pole von Sender und Empfänger stets mit Luftdraht bezw. mit Erde verbunden. Die Verbindung mit der Erde braucht keine besonders innige zu sein, ein in den Boden gesteckter Säbel, in Wasser gelegter Draht, selbst mit Isolation, falls nur am äußeren Ende der Querschnitt freiliegt, genügen. Unterläßt man die Erdverbindung aber ganz, so wird die Wirkung auf

Digitized by Google

den Empfänger wesentlich geschwächt. Zwischen Matrosenstation und Sacrow konnten wir auch ohne Erdverbindung deutliche Zeichen geben, mit der Pfaueninsel glückte es nicht, die Zeichen rissen ab und wurden unvollständig. Zur Herstellung einer ausreichenden Erdverbindung genügte es auch, wenn der mit guter Isolation versehene Erddraht lose auf den nassen Bodenplanken des Prahmes lag. —

Ich habe einige Versuche angestellt, um zu sehen, ob die senkrechte Führung des Luftdrahtes unter allen Umständen nötig ist. Das ist nicht der Fall. Der folgende Versuch wird Sie davon überzeugen. Benutze ich als Sender den Unterbrechungsfunken dieser kleinen Hausklingel, so spricht die Frittröhre an, wenn ich in unmittelbarer Nähe derselben die Funken erzeuge. Ein Meter ist aber die äußerste Entfernung, auf welche ich gehen darf. Verbinde ich nun die Pole des Fritters einerseits, die Funkenstrecke der Klingel andererseits mit frei ausgespannten, am anderen Ende isolierten wagerechten Drähten von etwa 5 m Länge, so kann ich vom äußersten Ende dieses Saales den Empfänger mit Sicherheit in Tätigkeit setzen. Wir befinden uns nun hier nicht in unmittelbarer Nähe des Erdbodens. Wiederholt man den Versuch im Freien, so bemerkt man, daß die Übertragungsweite abnimmt, sobald man sich mit den wagerechten Drähten dem Erdboden nähert. Beträgt der Abstand aber über 2 m, so kann man auf erhebliche Entfernungen gehen. Als wir bei den anfänglichen Versuchen mit der Pfaueninsel durch luftelektrische Erscheinungen empfindlich gestört wurden, benutzte ich 4 solcher Horizontaldrähte von 0,16 mm Durchmesser von je 100 m Länge, welche etwa 2 m vom Erdboden bezw. von der Wasseroberfläche freihängend an Isolatoren befestigt waren. Wir konnten damit auf 3 km klare Zeichen senden, obwohl zahlreiche Hindernisse, wie Bäume und die mehr-

Digitized by Google

erwähnte Landzunge dazwischen lagen. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit der Überwindung großer Entfernungen auch ohne die kostspielige Mitwirkung von Luftschiffen. Man müßte allerdings die wagerechten Drähte so hochlegen, daß sie sich sozusagen in ihrer ganzen Ausdehnung sehen können. Zwei gegenüberliegende Küsten könnten auf diese Art wohl am einfachsten telegraphisch verbunden werden, wenn dem Ausspannen kilometerlanger Leitungen an hohen Masten keine Hindernisse im Wege stehen.

Eine tunlichst parallele Lage der Drähte ist aber erforderlich. Ein einfacher Versuch wird dies zeigen. Ich verbinde mit den Polen des Empfängers und der Klingelfunkenstrecke steife Kupferdrähte von etwa $^1/_2$ m Länge. Ich stelle mich nun mit der Klingel so vor den Emptänger, daß die Drähte parallel liegen, derselbe spricht in dieser Entfernung sicher an. Drehe ich mich aber, sodaß die parallele Lage der Drähte aufhört, so versagt der Empfänger schon bei einem Winkel von etwa 30°.

Nach all diesen Beobachtungen neige ich zu der Ansicht, daß das Wesentliche die Länge der Drähte ist und nicht ihre Höhe. Die letztere braucht nur so groß zu sein, daß zwischenliegende Hindernisse in angemessener Entfernung darunter bleiben. Diese Anordnung hätte den nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß luftelektrische Störungen sicher ausgeschlossen werden können, denn in gleicher Höhe vom Erdboden ist das elektrische Potential der Luft das gleiche, so daß Entladungen der beiden Drähte durch den Fritter hindurch vermieden werden. Die Aufstellung des Empfängers müßte allerdings isoliert vom Erdboden erfolgen. —

Bei meinen Versuchen habe ich auch eine Beobachtung gemacht, die mancherlei Aussichten eröffnet. Sie bezieht sich auf die Rolle eines in Richtung der fortschreitenden Wellen-

Digitized by Google

bewegung des Aethers sich befindenden Drahtes. Als wir im vorigen Winter auf den langen Gängen der Technischen Hochschule mit unseren damals noch unvollkommenen Einrichtungen Versuche anstellten, fiel uns eines Tages auf, daß wir wesentlich weitere Entfernungen erzielen konnten als sonst, obwohl unsere Apparate unverändert waren und in gleicher Weise arbeiteten. Wir entdeckten die Ursache. Es war ein etwa 10 m langes Stück dünnen Drahtes, das von früheren Versuchen auf dem Fußboden ziemlich geradlinig in Richtung unserer Übertragung liegen geblieben war. Als wir ihn aufhoben, war die Wirkung unserer Apparate wieder wesentlich verschlechtert. Weitere Versuche führten zu der Erkenntnis, daß die elektrischen Wellen an Drähten entlang mit viel größerer Leichtigkeit wandern als durch die Luft, ja daß sie die Drähte gleichsam aufsuchen und auf ihrem Wege bevorzugen, wenn sie sich in Richtung der Fortpflanzung der Strahlen erstrecken. Auf der Matrosenstation spannten wir 160 m gut isolierten Drahtes aus, etwa 1 m vom Erdboden. Winzige Klingelfunken, die in der Nähe des einen Endes erzeugt wurden, wirkten auf den Empfänger, der in der Nähe des anderen Endes des Drahtes aufgestellt war. Es war wie eine Sprachrohrwirkung. Ich wiederholte den Versuch mit dem 10mal längeren Fernsprechdraht, der zur Verbindung der Standorte in die Havel gesenkt war. Ich erzielte nicht die geringste Wirkung, selbst dann nicht, als ich den Draht selber einerseits mit dem Pol des Empfängers, andererseits mit der Kugel des Strahlapparates metallisch verband und die stärksten Entladungsfunken hineinsandte. Es war lediglich die Wirkung der nahen Erde, welche durch die Isolation des Drahtes hindurch die Strahlen ablenkte. Erst in einer gewissen, allerdings nicht großen Entfernung von der Erde wird die Fortpflanzung durch den Draht möglich.

Digitized by Google

Man könnte hierauf vielleicht eine neue Art von Telegraphie mit nur einem Draht und ohne Erdverbindung gründen. Verbände man die Enden des Drahtes mit je einem Pol des Senders und Empfängers, so würde ein winziger Funke seine Wirkungen sicherlich meilenweit tragen. Festzustellen bliebe allerdings, ob die übliche Isolierung der Stützpunkte das Übertreten der Wellen in die Erde ebenso wirksam verhüten könnte, wie den Übergang der Gleichströme bei der gewöhnlichen Telegraphiermethode.

Eine andere Überlegung führt zu merkwürdigen Folgerungen. Die Wirkungen des Gleichstroms pflanzen sich bekanntlich nur in Leitern fort, jede Isolation hemmt ihren Lauf. In welch erstaunlichem Maße dies geschieht, haben wir ja an den Frittröhren gesehen, die trotz ihrer metallischen Füllung durch die winzigen Luftstrecken zwischen den lose aneinander liegenden Körnern die Ausbildung und Fortpflanzung eines Gleichstromes vollkommen verhindern. Gerade entgegengesetzt ist das Verhalten der elektrischen Wellen, die von einer Funkenstrecke mit schnell wechselnden Entladungen ausgehen. Sie dringen mit Leichtigkeit gerade durch die besten Isolatoren, wie die Luft, doch werden sie von Metallen gehemmt; sie werden von diesen zurückgeworfen wie das Licht von einer spiegelnden Fläche. Die an einem Draht entlanglaufenden Wellen dringen darum auch nicht in das Innere, ihre Straße ist der freie Ätherraum rings herum.

Nun teilt jeder Draht den Raum in zwei Teile, einen Außen- und einen Innenraum, man könnte sie folgerichtig als Außen- und Innenröhre bezeichnen. Füllen die Wirkungen des Gleichstroms nun die innere Röhre, so bleibt die äußere frei für den ungehinderten Fortgang elektrischer Wellen. Es muß also möglich sein, auf einem einzigen Draht zwei Tele-

Digitized by Google

gramme zu befördern, das eine mit Gleichstrom, das andere mit Funkenstrom, wenn diese Ausdrucksweise gestattet ist.

Ein Versuch wird uns von der Richtigkeit dieser Folgerungen überzeugen. Längs jenen drei Wänden dieses Saales ist ein dünner isolierter Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser ausgespannt und an Porzellanisolatoren befestigt. Die Gesamtlänge beträgt etwa 60 m. Hier an der vorderen Längsseite des Saales befinden sich die freien Enden des Drahtes etwa 20 m voneinander entfernt. Zur Ausführung der gewöhnlichen Stromtelegraphie dient auf der einen Seite eine kleine Akkumulatorenbatterie, deren einer Pol mit Hilfe eines Tasters an die Leitung gelegt werden kann, während der andere Pol durch Verbindung mit der Wasserleitung im Nebenzimmer geerdet ist. Auf der anderen Seite ist ein Morseschreiber eingeschaltet und die Leitung gleichfalls an Erde gelegt. Sie bemerken, wie ich durch längeres oder kürzeres Niederdrücken des Tasters den Morseschreiber in Tätigkeit setzen kann.

In unmittelbarer Nähe des Drahtendes befindet sich ferner auf der einen Seite eine kleine elektrische Hausklingel, durch zwei Trockenelemente betätigt. Den winzigen Unterbrechungsfunken derselben wollen wir als Sender elektrischer Wellen benutzen. Auf der anderen Seite ist unser Marconi-Apparat dicht an den Draht gerückt. Sobald ich einen Funken erzeuge, hören Sie das Geräusch des Klopfers und das Ticken eines angeschlossenen zweiten Morseschreibers. Wir wollen nun zu gleicher Zeit zwei Telegramme senden, und zwar das Wort „Strom“ mit dem Taster, das Wort „Funke“ mit der Klingel. (Versuch.) Sie sehen, beide Telegramme sind ganz deutlich angekommen, ohne sich zu stören.

Eine kleine Vorsicht ist allerdings zu beobachten. Der Unterbrechungsfunke am Taster der Stromtelegraphie würde

Digitized by Google

auf den Marconi-Apparat wirken; ich habe ihn durch einen Nebenschluß von 2000 Ohm unwirksam gemacht.

Ehe dieser Versuch indes eine praktische Bedeutung gewinnen kann, müßte eine Erprobung auf längeren Linien erfolgen.

Möge dieses Beispiel aber zeigen, daß die Anwendung elektrischer Strahlen mit Marconi's Erfindung nicht erschöpft ist. Die Natur hat uns ein neues Tor geöffnet, Aufgabe der Wissenschaft ist es zunächst, den erschlossenen Raum zu erhellen.

Eine fesselnde Gedankenverbindung drängt sich uns auf. Wir stehen am Ende eines Jahrhunderts, dessen Beginn uns die Entdeckung des elektrischen Stromes brachte. Länger als 50 Jahre kannten wir nur eine nützliche Verwendung desselben: die Telegraphie. Wer hätte am Anfange des Jahrhunderts seine volle Bedeutung geahnt? Aus dem leichtfüßigen Vermittler der Gedanken wurde der Spender des blendendsten Lichtes, der Lasten tragende Herkules des Verkehrs und der Industrie.

Das Meer der elektrischen Wellen erschließt sich erst jetzt. Wiederum ist es zunächst nur ein leichtes Schiff, das wir getragen sehen. Mehr als ein berückender Traum will es uns aber scheinen, daß dereinst auch schwerere Fahrzeuge auf seinen Wogen dahinziehen. Trägt doch die Wasserwelle nicht nur die leichteste Feder, sondern mit gleicher Willigkeit das belastete Eisenschiff von Ufer zu Ufer; sendet die Sonne doch schon seit Jahrtausenden mit den Wellen des Äthers ungezählte Millionen von Pferdestärken auf die erstarrende kraftarme Erde!

Digitized by Google

6.

Die Marine und die Funkentelegraphie.

(1899.)

Während der praktische Wert der Erfindung Marconi's anfangs vielfach bezweifelt wurde, ist derselbe heute, wenigstens für gewisse Verwendungszwecke, unbestritten, und die Marinen aller seefahrenden Nationen sind beschäftigt, die neue Telegraphie als wertvolle Ergänzung der bestehenden Signaleinrichtungen anzunehmen und weiter auszubilden. Man wird in Zukunft beim Entwurf neuer Schiffe für die Unterbringung der Apparate von vorn herein Sorge zu tragen und auf eine tunlichst störungsfreie Anordnung der erforderlichen Drahtführungen Rücksicht zu nehmen haben. Aus diesem Grunde dürften auch die schiffbautechnischen Kreise an den Fortschritten der Funkentelegraphie Interesse nehmen. Der mir gestellten Aufgabe glaube ich am besten zu entsprechen, wenn ich zunächst das Prinzipielle der Einrichtungen durch Experimente erläutere, sodann die in letzter Zeit erzielten Fortschritte und zum Schluß die Gesichtspunkte behandele, welche speziell für die Marinezwecke zu beachten sind.

Die neue Telegraphie benutzt, wie bereits ihr Name besagt, ausschließlich Wirkungen, welche von einem elektri-

Digitized by Google

schen Funken ausgehen. Man nimmt an, ein unsichtbarer, unendlich feiner Stoff, der alle Körper ebenso wie die Luft und die Weiten des Weltalls gleichmäßig erfüllt, und den man Äther genannt hat, wird durch den Funken so heftig elektrisch erschüttert, daß die Stoßwirkung sich mit dem Charakter einer Wellenbewegung nach allen Richtungen des Raumes verbreitet. Heinrich Hertz hat durch seine vor etwa 10 Jahren angestellten berühmten Versuche bewiesen, daß die von dem Funken ausgehende elektrische Strahlung alle Gesetze des Lichtes befolgt, sich auch mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt.

Solche wellenförmig sich ausbreitenden Stoßwirkungen, die bei den Licht- und den elektrischen Erscheinungen vorläufig allerdings nur eine rein hypothetische Bedeutung haben, führt uns die Natur anderweitig vor Augen. Schlagen wir kräftig gegen ein ausgespanntes Seil, so sehen wir, wie die Erschütterung sich wellenförmig am Seil entlang fortpflanzt. Wir beobachten eine Welle in einem linearen Mittel. Erschüttern wir den Wasserspiegel durch einen Steinwurf, so sehen wir kreisförmig sich ausbreitende Flächenwellen die Störung weitertragen. Auch eine Geschwindigkeit der Fortpflanzung nehmen wir wahr. Wenn wir träumend am Strande eines spiegelklaren Sees liegen, macht sich die Bugwelle eines fern vorüberfahrenden Dampfers unserm Ohr mit melodischem Geplätscher erst dann bemerkbar, wenn der Dampfer längst außer Sicht. Die Flächenwelle erleichtert uns die Vorstellung einer kugeligen Raumwelle, wenn wir sie auch nicht sinnlich wahrnehmen können.

Einen elektrischen Funken müssen wir uns nun als Ausgangspunkt denken für räumliche Ätherwellen. Doch hat diese Eigenschaft nicht der Funke allein. Jeder Wechsel, jede Intensitätsänderung einer elektrischen Erscheinung, z. B.

Digitized by Google

eines Stromes, ruft ähnliche Wirkungen hervor. Am auffallendsten zeigt sie der Wechselstrom. Jeder Wechsel der Stromrichtung erzeugt eine Ätherwelle. Es ist so, wie wenn wir einen und denselben Punkt eines Wasserspiegels in unaufhörlicher Wiederholung mit dem Finger berühren. Ein irgendwo schwimmender Kork tanzt dann nach einiger Zeit in demselben Tempo auf und nieder. Bringen wir in den von elektrischen Wellen erfüllten Raum einen geeigneten Körper, so wird auch dieser in das Wellenspiel mit hineingezogen, er tanzt mit, d. h. elektrisch. Die Wirkung, in diesem Fall ein elektrischer Strom, durchzittert ihn in gleichem Rhythmus.

Ein näheres Studium der Erscheinung zeigt, daß die Wirkung desto weiter reicht, je schneller wir die Wellen erzittern lassen und je heftiger wir den Stoß ausführen, also bildlich gesprochen, je schneller und höher wir die Wellenberge ansteigen lassen. Kurze und intensive Wellen müssen wir also zu erzeugen streben. Die Intensität der Wellen heißt in der Sprache des Elektrotechnikers die elektrische Spannung. Diese können wir durch Transformatoren beliebig steigern. Aber die Erzeugung schneller Schwingungen bietet Schwierigkeiten. Die elektrischen Wellen unserer Maschinen sind, von diesem Gesichtspunkt aus, als außerordentlich langsame zu bezeichnen. Nur hundert Wechsel erzeugen wir in der Sekunde, ebensoviel Stöße erteilen wir dem Äther. Eine hundertfache Steigerung derselben stellt den Konstrukteur der Dynamomaschine schon vor unlösbare Aufgaben. Der erforderlichen Umdrehungszahl des Ankers hielte kein Material Stand. Nennenswerte Fernwirkungen können wir aber erst erwarten, wenn es gelingt, die Schwingungszahl um das Millionenfache zu steigern. Eine solche Maschine brauchen wir jedoch glücklicher Weise gar nicht erst zu er-

Digitized by Google

finden, sie ist schon da. Die Natur selber stellt sie uns zur Verfügung — im elektrischen Funken.

Was ist und wie entsteht ein elektrischer Funke? Steigern wir die elektrische Spannung zwischen zwei Körpern über ein gewisses Maß, so tritt ein plötzlicher Ausgleich ein, ein elektrischer Strom, in welchem mitgerissene Metallteilchen zum Glühen kommen — das ist der Funke.

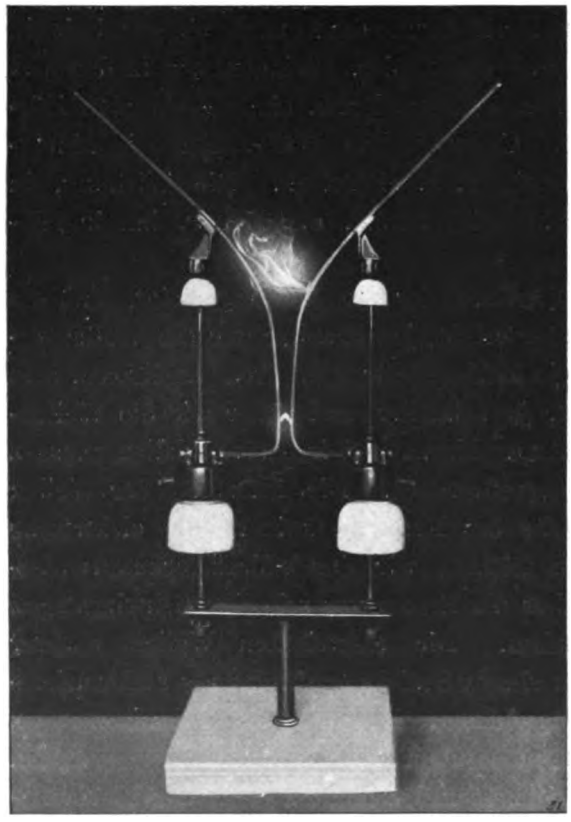


Fig. 88.

Wir müssen aber zwei verschiedene Arten von Funken unterscheiden. Die eine Art leitet einen dauernden Strom ein, der ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom sein kann. — Diese Einrichtung hier soll ihn vor Augen führen. (Fig. 88) Sobald die elektrische Spannung zwischen den dicken Kupferdrähten eine genügende Größe erreicht hat, springt ein Funke über und stellt dauernde Verbindung her. Es entsteht ein sogenannter Licht-

Digitized by Google

bogen. Durch die hörnerartige Gestaltung der Drähte wird derselbe in dem aufsteigenden Luftstrom auseinandergezogen, bis er zerreißt. Dann bildet sich das Phänomen von neuem aus. In der Flamme des Lichtbogens pulsiert ein Wechselstrom von derselben niedrigen Frequenz, wie ihn unsere Maschine liefert.

Bei der anderen Art des Funkens sammeln wir vorher eine gewisse Elektrizitätsmenge an. Der Ausgleich erfolgt dann heftiger. Er erschüttert nicht nur den Äther, sondern sogar, falls er stark genug ist, die billionenmal dichtere Luft und erzeugt einen heftigen Knall. Die Belegungen dieser Flaschenbatterie hier (Fig. 89) wollen wir laden, bis ein solcher Ausgleich erfolgt — wir nehmen blitzartige Erscheinungen wahr. Es ist ein ähnlicher Vorgang wie die Explosion eines Dampfkessels. Treffender noch ist der Vergleich mit der gespannten Sehne einer Armbrust. Lösen wir sie aus, so erzeugt sie einen heftigen Stoß, denn die angesammelte Energie wird plötzlich frei. Aber die Sehne kehrt nicht sofort in die Ruhelage zurück. Ebensowenig die elektrische Erscheinung. Sie zittert im Funken nach, in der Form von Wechselströmen mit schnell abnehmender Intensität. Diese pendeln mit erstaunlicher Geschwindigkeit, etwa 10 bis 100 Millionen Mal in einer Sekunde, so daß unser Auge den Wechsel der Erscheinung ohne Weiteres gar nicht wahrnehmen kann. Wir kommen ihm zu Hülfe, indem wir das Funkenbild in einem schnell rotierenden Spiegel betrachten. Die aufeinanderfolgenden Funkenströme werden dadurch im Bilde auseinandergezerrt und wir erkennen in dem einen Funken ein ganzes Bündel von solchen. Jede Funkenentladung erzeugt ein neues Bündel von Funkenströmen, in denen die elektrische Erscheinung hin- und herwogt.

Daß wir es hier tatsächlich mit elektrischen Strömen, und zwar mit Wechselströmen zu tun haben, soll uns ein

Digitized by Google

anderes Experiment zeigen. Wir verbinden mit den Polen einer Funkenstrecke gradlinig ausgespannte Drähte, welche isoliert an den gegenüberliegenden Wänden dieses Saales be-

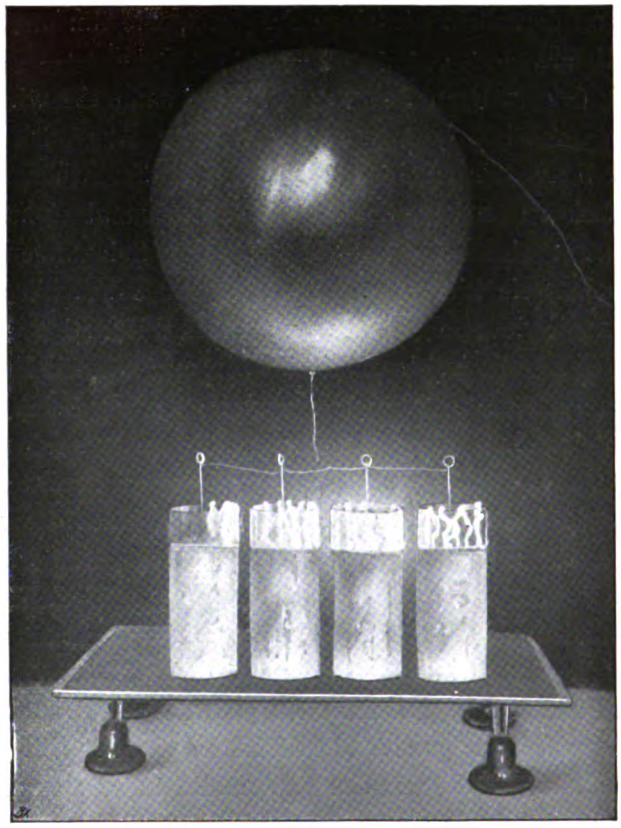


Fig. 89.

festigt sind. Die Pole selbst laden wir mit Wechselstrom, wie ihn unsere Maschine liefert, d. h. mit hundert Wechseln in der Sekunde, unter Zwischenschaltung eines Transformators, um die Spannung zu steigern. (Fig. 90.) In die gradlinien

Digitized by Google

Drähte haben wir Glühlampen eingeschaltet. So lange die Kugeln so weit von einander entfernt sind, daß ein Funke nicht entstehen kann, nehmen wir in diesen Drähten nichts

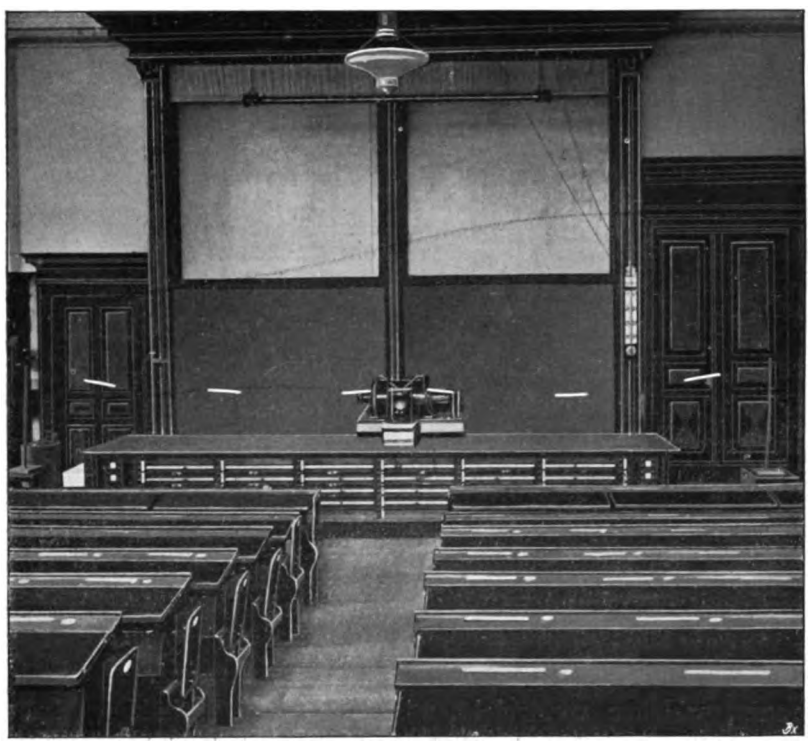


Fig. 90.

wahr. Der transformierte Wechselstrom pulsiert mit seinen 100 Wechseln in der Sekundärspule des Transformators. Nun wollen wir die Kugeln soweit nähern, daß ein Funke entsteht — sofort leuchten die Lampen auf und zeigen das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in den gradlinigen Drähten. Dies kann nur ein Wechselstrom von hoher Frequenz

Digitized by Google

sein, denn wir haben keinen geschlossenen Kreis, wie er vorhanden sein müßte, wenn ein Gleichstrom sich darin ausbilden sollte. So schießt jeder Stromstoß von den Kugeln bis zu den Enden der Drähte und prallt von dort wieder zurück.

Ein solcher Wechselstrom von hoher Frequenz trägt seine Wirkung nun meilenweit durch den Raum. Jeder Funke, von je einer Welle unseres langsam pulsierenden Wechselstroms erzeugt, verursacht ein ganzes Wellenkonglomerat, welches dahinzittert, dahinbraust, möchte ich lieber sagen, wenn die Ätherbewegung nicht geräuschlos wäre. (Fig. 91.) Der erste Wellenberg in diesem Schwall ist aber immer der stärkste; er wird um so schneller ansteigen, sein Stoß wird um so heftiger sein, je schneller die Schwingung ist. Da der Effekt durch die sekundliche Arbeitsleistung bedingt ist, so kommt man hier bei der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher die Welle sich hebt, auf eine stattliche Zahl von Pferdestärken, die aber nur etwa für den hundertmillionsten Bruchteil einer Sekunde wirksam sind. Der Zeitraum, welcher verstreicht, bis eine neue Entladung einen abermaligen Wellenschwall hervorruft, verhält sich zur Zeitdauer eines Wellenstoßes etwa wie 30 Stunden zu 1 Sekunde. Das Auge nimmt diese Trennung nicht wahr, wir sehen scheinbar nur einen kontinuirlichen Funkenstrom.

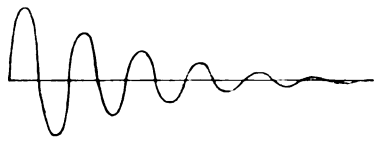


Fig. 91.

Es wird nun aber klar, warum die Pulsationen des Funkens so viel weittragender sind. Mit den langsam pulsierenden Wellen unserer Wechselstrommaschinen können wir ähnliche Effekte niemals erzielen. Ihre Wirkung verhält sich zu dem Stoß der Funkenpulsationen wie ein sanfter Backen-

Digitized by Google

streich zu dem Schlag der Kanonenkugel gegen die Panzerplatte.

In geeignet gestalteten leitenden Körpern, welche die Ätherwellen auf ihrem Wege treffen, erzeugen sie wiederum elektrische Wechselströme, ähnlich wie die Wasserwelle einen schwimmenden Kork in auf- und niedergehende Bewegung versetzt. Aber diese Fähigkeit erlahmt, je weiter sich die Ätherwellen von ihrem Ausgangspunkte entfernen. Sie nimmt ab mit dem Quadrat der Entfernung, genau so wie die Lichtintensität, die von einem leuchtenden Punkte ausstrahlt. Ist doch die Lichtquelle auch nur eine Erschütterungsstelle im Äther, von der eine Wellenbewegung ausgeht, allerdings mit einer wiederum millionenmal schnelleren Schwingung. Unendlich klein werden deshalb auch nur die Kraftäußerungen sein können, welche die Ätherwellen in meilenweiter Entfernung ausüben. Aber wie der winzigste Bazillus, wenn er zu Milliarden anrückt, den kräftigsten Organismus zerstören kann, so können sich auch zahllose feine Ätherstöße zu einer Gesamtwirkung von beträchtlicher Größe vereinigen. Zu diesem Zweck muß man die Ätherwellen allerdings erst zu einer bestimmten Marschordnung veranlassen. Verbindet man mit der Funkenstrecke gradlinige Leiter, so gehen die Wellenstöße hauptsächlich von diesen aus und sind polarisiert, d. h. die Ätherteilchen schwingen nur in einer Richtung, nämlich in derjenigen, welche dem aussendenden Leiter parallel ist. Ihre Wirkung nimmt jetzt nicht mehr mit dem Quadrat, sonder nur mit der einfachen Entfernung ab. Treffen sie auf ihrem Marsch in dieser straffen Formation einen anderen linearen Leiter, so ziehen sie sich von allen Seiten dorthin zusammen, gleichsam wie ein Fliegenschwarm an der Leimrute. Es findet ein konzentrierter Massenangriff statt, der an dem Draht entlang in dichtem Gewühl ein stürmisches Auf- und

Digitized by Google

Abwogen elektrischer Kräfte oder mit andern Worten einen pulsierenden Wechselstrom von hoher Frequenz hervorruft. Eine erstaunliche Verstärkung der Wirkung läßt sich durch solche Sende- und Empfangsdrähte erzielen. Eingehende Messungen zeigten mir, daß die Wirkung von den beiderseitigen Drahtlängen abhängt und fast genau mit dem Produkt derselben zunimmt. Bei gleichen Drahtlängen am Sender und Empfänger verhalten sich die Wirkungen mithin wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen, und da, wie vorhin schon bemerkt, die Wirkungen mit den einfachen Entfernungen abnehmen, so folgt daraus, daß die Entfernungen, auf welche man gleiche Wirkungen übertragen kann, sich verhalten wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen. Ein Beispiel wird die große Bedeutung dieses Satzes klarer machen. Erzielt man mit 10 m Draht auf beiden Seiten eine bestimmte Wirkung in 5 km Entfernung, so kann man die gleiche Wirkung mit 20 m Draht bis zu einer Entfernung von $4 \times 5 = 20$ km wahrnehmen, mit 30 m bis zu $9 \times 5 = 45$ km. Ein herrliches Gesetz für Fernwirkungen, welches fast unbegrenzte Ausdehnung zuläßt.

Zum Erkennen der im Empfangsdraht induzierten Wechselströme stehen uns verschiedene Mittel zu Gebote; wir können aber nur die empfindlichsten benutzen. Geeignet ist z. B. das Telephon. Hier vorn im Saal erzeugen wir eine Funkenstrecke und polarisieren die Schwingungen durch die von den Polen ausgehenden isolierten Horizontaldrähte. Die Schwingungen des Äthers vollziehen sich dann in diesem ganzen Saal in horizontaler Richtung. Als Empfänger dienen zwei gleichfalls horizontal ausgespannte Drähte, dort hinten im Saal, deren mittlere Enden mit dem Telephon verbunden sind. Sobald ich hier vorn Funken erzeuge, hören Sie im Telephon einen Ton. (Fig. 92). Er entspricht der Schwingungszahl

Digitized by Google

unseres primären Wechselstromes (100 in 1 Sek.), denn die Schwingungen des Funkenstromes selber erfolgen zu schnell, als daß sie das Ohr noch wahrnehmen könnte: die Grenze der hörbaren Töne liegt ja bekanntlich bei 40 000 Schwingungen in der Sekunde und in dem erzeugten Funken haben wir etwa 10 Millionen. Durch kurze und längere Funkengebung kann ich die Zeichen des Morse-Alphabets telegraphieren ohne verbindenden Draht.

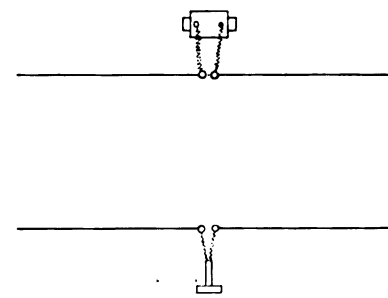


Fig. 92.

Die mit diesem Mittel erreichbare Entfernung kann immerhin mehrere Kilometer betragen, wenn die Sende- und Empfangsdrähte von entsprechender Ausdehnung sind. Es ist sogar möglich, die zusammengesetzten langsamen Schwingungen der Sprache von Draht zu Draht durch den Raum zu übertragen. Dieses Experiment erleben wir alle Tage, zu unserem Verdruß, wenn wir am Telephon vielleicht auf eine wichtige Familiennachricht lauschen und dazwischen zugleich den Auftrag zu einem Effektenverkauf für Herrn Meyer in Empfang nehmen müssen. Das ist eine Telephonie ohne Draht, die also gar nicht mehr erfunden zu werden braucht. Sie reicht allerdings nur von einem zum anderen Draht am gleichen Gestänge.

Um die schnellen Wellen des Funkenstromes selber für eine Zeichengebung nutzbar zu machen, wollen wir uns einer Einrichtung bedienen, welche gewissermaßen als die Umkehrung des Wellenerzeugers angesehen werden kann, indem wir nämlich mit den aufgefangenen Ätherwellen, mit den in den Empfangsdrähten induzierten Wechselströmen wiederum

Digitized by Google

Funken erzeugen. (Fig. 93). Ein Experiment wird die Sache am schnellsten klar machen. Ich habe hier zwei Stückchen poröser Kohle, welche bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert sind. Die sammetartige Oberfläche der Kohle besteht aus lauter mikroskopischen Spitzchen. Verbinde ich die Kohlen nun mit den von den Strompulsationen durchwogten Empfangsdrähten, so spritzen die elektrischen Wellen gleichsam zwischen den Spitzen wie über ein Hindernis, wir nehmen ein Funkensprühen wahr. Es ist eine Bogenlampe en miniature, gespeist durch Ätherwellen. Ich kann den Beweis führen, daß das Funkensprühen tatsächlich durch die schnellen Pulsationen hervorgerufen wird. Erzeuge ich nämlich, wie vorhin, einen Wechselstromlichtbogen mit den geringen Schwingungszahlen, so hört das andauernde Funkensprühen an unserem Empfänger auf. Wir nehmen nur einen Funken wahr, wenn der Lichtbogen einsetzt, erkennen also den damit verbundenen Ätherstoß. In dem ausgebildeten Lichtbogen sind keine Funkenpulsationen mehr vorhanden, sondern nur die langsamen Schwingungen des Wechselstromes. Auf dieses Streicheln spricht unser Empfänger nicht an, es gehört ein Stoß dazu.

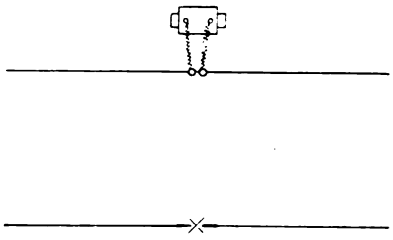


Fig. 93.

Wir können diese winzigen Funken benutzen, um größere Kräfte damit auszulösen. Mit Leichtigkeit könnte ich einen Sprengstoff zur Explosion bringen. Ich will ein weniger geräuschvolles Experiment machen. Dort hinten im Saal steht eine Bogenlampe. Die Kohlenstäbe sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden, berühren sich aber nicht,

Digitized by Google

so daß ein Strom nicht übertreten kann. Mit den Kohlenstäben sind ferner die langen Auffangearme für die elektrischen Wellen verbunden. Das durch diese Wellen erzeugte Funkensprühen stellt eine leitende Brücke her zwischen den Kohlenstäben und schließt den Strom der Akkumulatorenbatterie. Ein einziger Funke am Strahlapparat hier vorn genügt, die Lampe zum Leuchten zu bringen.

Mit solcher Einrichtung könnte man bereits telegraphieren, müßte aber Vorsorge treffen, daß nach jeder Entzündung der Bogenlampe der Strom der Akkumulatorenbatterie wieder unterbrochen würde. Ich kann die Unterbrechung aber zu einer selbsttätigen machen, wenn ich an die Stelle der Bogenlampe eine gewöhnliche Glühlampe setze. Der geringe Strom, der dieselbe durchfließt, unterbricht sich sofort von selber, sobald das Funkensprühen an den Kohlenstücken aufhört. Wie Sie sehen, kann ich selbst die Zeichen des Morsealphabets durch kürzeres oder längeres Erglühen der kleinen Lampe zur Wahrnehmung bringen.

Die Pulverkammer eines feindlichen Schiffes durch solche Fernwirkung zur Explosion zu bringen, erscheint hiernach als keine unlösbare Aufgabe. Der Feind müßte uns allerdings den Gefallen tun, in seinem Pulvervorrat die Kohlenstückchen unterzubringen und dieselben mit langen Auffangedrähten in freier Luft zu verbinden. Für die Funkengebung an Bord gewinnt dieser Scherz aber doch eine ernstere Bedeutung. Es erscheint nämlich nicht ausgeschlossen, daß die Lichtleitungen in unerwünschter Weise die Rolle von Auffangedrähten übernehmen. Kommen sie an irgend einer Stelle sich allzunah und sind sie zugleich mangelhaft isoliert, so kann durch minimales Funkensprühen der schönste Kurzschluß zwischen den Leitungen entstehen. Bei sonst guter Installation bringt dies keinen weiteren Schaden, als daß die

Digitized by Google

Sicherungen durchbrennen. An Bord S. M. S. „Friedrich Carl“ haben wir dies tatsächlich erlebt. Jedenfalls ist bei der Einrichtung der Funkentelegraphie an Bord dieser Umstand zu beachten und eine Revision der Leitungen nach diesem Gesichtspunkt erforderlich. Auch die Anker aller Dynamomaschinen an Bord können durch solche Funkenbildung durchschlagen werden, sie sind infolgedessen mit Blitzsicherungen zu versehen. Die Munitionskammern sind durch ihre völlige Metallumkleidung ausreichend geschützt, Lichtleitungen dürfen meines Wissens schon jetzt nicht eingeführt werden.

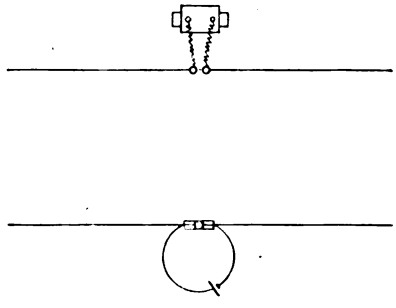


Fig. 94.

Marconi verwendet zur Zeichengebung ganz ähnliche Einrichtungen wie die zuletzt geschilderten. (Fig. 94.) An die Stelle der Kohlenstückchen treten die Körnchen eines lose zusammengeschichteten Metallpulvers. Dasselbe ist zwischen zwei Silberkolben in einem Glasröhrchen untergebracht und kann mittels zweier eingeschmolzener Platindrähte an die Fangarme für die elektrischen Wellen angeschlossen werden. Jedes Körnchen des Pulvers ist mit einer dünnen Oxydhaut, wie sie die meisten Metalle an der Luft annehmen, bedeckt und von seinem Nachbar dadurch isoliert. Verbinden wir die Enden der Röhre außer mit den Fangdrähten auch noch mit einer geschlossenen Drahtleitung, in welche ein Trockenelement und ein gewöhnliches Telegraphenrelais eingeschaltet sind, so wird dennoch kein Strom entstehen können, da in dem Pulver der Röhre die Leitung unterbrochen ist. Fangen aber die geradlinigen Drähte polarisierte elektrische Wellen auf, so

Digitized by Google

stellen die minimalen und dem Auge nicht sichtbaren Funken zwischen den Pulverkörnchen eine Verbindung her. Es bildet sich, vielleicht mit Unterstützung kondensierter Metalldämpfe, eine Brücke für den Gleichstrom des Trockenelements und dieser bringt das Relais zum Ansprechen. In bekannter Weise wird dadurch eine stärkere Lokalbatterie geschlossen, welche eine elektrische Klingel oder einen Morseschreiber betätigt. Ein leises Klopfen an der Röhre bringt die losen Brücken zwischen den Metallkörnchen zum Einsturz und stellt den ursprünglichen Zustand wieder her. Durch kürzere und längere Bestrahlung können wir wieder die Zeichen des Morsealphabets übertragen. Der Klopfer wird dabei durch den Strom der Lokalbatterie in Bewegung gesetzt. In der Röhre findet ein ähnlicher Vorgang statt wie bei dem technischen Prozeß des Frittens, man hat sie darum einen Fritter oder eine Frittröhre genannt. Die Engländer nennen sie coherer, die Franzosen radioconducteur.

Die Gesetze der elektrischen Strahlung sind durch die Versuche von Hertz seit 10 Jahren bekannt; die Eigenschaften des Fritters hat Branly in Paris im Jahre 1890 entdeckt. Im Jahre 1895 machte Popoff in St. Petersburg die erste praktische Anwendung der neuen Erscheinungen zum Registrieren von Gewitterentladungen. Er benutzte einen Aufnahmeapparat, der mit dem von Marconi später verwendeten im Prinzip völlig übereinstimmt. Marconis Verdienst besteht zunächst in einer sorgfältigen Durchbildung der Apparate zur praktischen Telegraphie. Bei seinen Versuchen gelangte er aber zu der wichtigen Entdeckung der fast unbegrenzten Fernwirkung vertikal polarisierter elektrischer Wellen.

Drei Jahre sind jetzt verflossen, seit seine Erfindung an die Öffentlichkeit trat. Welche Fortschritte sind seitdem er-

Digitized by Google

zielt? Dieselben beziehen sich einerseits auf eine bessere Kenntnis der Erscheinung und ihrer Gesetze, andererseits, zum Teil als direkte Folge davon, auf eine Steigerung der technischen Wirkung. Die letztere läßt sich, soweit sie Marconi selber betrifft, in Zahlen ausdrücken. Im Frühjahr 1897 telegraphierte er am Bristol-Kanal 5 km weit und brauchte dazu 50 m lange Sende- und Empfangsdrähte. Das ergab pro Meter Drahtlänge 100 m Entfernung. Im Sommer dieses Jahres sandte er nach Zeitungsberichten bei den englischen Flottenmanövern Telegramme mit 45 m Draht auf 108 Kilometer. Das ist eine 24 fache Steigerung der Wirkung.

Fast in allen zivilisierten Ländern hat man inzwischen Versuche angestellt. Einzelheiten sind indes wenig bekannt geworden. Marconi hüllt sich, was seine eigenen Verbesserungen betrifft, in tiefes Schweigen. Was ich mitteilen kann, bezieht sich darum nur auf Studien, die ich selber ausführen konnte. Sie wurden ermöglicht durch die Gnade Seiner Majestät des Kaisers. Ich durfte zwei Sommer hindurch auf den Havelgewässern experimentieren unter Zuziehung von Mannschaften der Königlichen Matrosenstation. Auch die Luftschifferabteilung hat auf Allerhöchste Anregung einige interessante Versuche angestellt, welche mit 21 km Entfernung für einige Zeit sogar Deutschland den Weltrekord verschafften. Seine Exzellenz, der Herr Staatssekretär des Reichsmarineamtes hatte sodann im Sommer und Herbst dieses Jahres die Güte, die Erprobung einiger Neuerungen an Bord der deutschen Kriegsschiffe auf der Ostsee zu genehmigen. Wenn ich diese Neuerungen heute mitteile, möchte ich aber damit nicht den Eindruck hervorrufen, als sollten dieselben eine Übertrumpfung Marconis darstellen. Die Mittel, mit denen Marconi heute arbeitet, kenne ich

Digitized by Google

nicht, ich weiß nur, daß sie wesentlich vollkommener sein müssen als diejenigen, welche ich vor 2 Jahren bei ihm kennen lernte. Ein direkter Vergleich wäre nur möglich unter identischen Versuchsbedingungen.

Ich gestatte mir zunächst, eine theoretische Anschauung, zu welcher diese Versuche führten, kurz auseinanderzusetzen. Dieselbe war für die technische Ausbildung des Verfahrens nicht ohne Nutzen. Diese Erkenntnis, die eigentlich eine Enttäuschung in sich schließt, ist die Erklärung des Phänomens durch elektrische Stoßwirkungen, wie ich sie bereits im Beginn meines Vortrages angegeben habe. Es bestand anfänglich die Hoffnung, durch klarere Ausbildung des Wellencharakters der elektrischen Störung eine Abstimmung der Empfangsapparate auf ganz bestimmte Wellenlängen zu erreichen. Ich habe mich leider nur von der Aussichtslosigkeit dieser Bestrebungen überzeugen können. Der Fritter ist nicht mit einem Pendel zu vergleichen, welches durch zahlreiche in bestimmten Intervallen erfolgende Impulse von geringer Intensität allmählich in lebhaftere Schwingungen versetzt wird. Er befindet sich vielmehr in einer Art von labilem Gleichgewicht und wird durch einen elektrischen Stoß sofort zum Kippen gebracht.

Hieraus ergibt sich indeß die wichtige Folgerung, daß in erster Linie eine hohe sekundliche Energie der Stöße des Funkengebers anzustreben ist. Diese hängt aber nicht allein von der Spannung, sondern auch von der Elektrizitätsmenge ab, welche wir bei der Funkenbildung auslösen. Es ist genau so wie beim freien Fall der Körper. Lösen wir ein hängendes Gewicht aus, indem wir den Faden durchschneiden, so werden wir einen desto stärkeren Stoßeffekt beim Aufschlagen des Gewichtes erzielen, je größer neben der Fallhöhe auch die in Bewegung gesetzte Masse des Körpers ist. Die Funkenlänge

Digitized by Google

allein, welche der angewandten elektrischen Spannung entspricht, tut es nicht, es muß in dem Funken auch eine möglichst große Elektrizitätsmenge pulsieren. Sehen wir uns daraufhin die üblichen Funkengeber an. Es sind die gebräuchlichen Induktionsapparate, für deren Konstruktion nur die Erzeugung möglichst hoher Spannungen maßgebend ist. Man klassifiziert ja auch die Induktionsapparate lediglich nach der Schlagweite des Funkens, indem man von einem 20 oder 30 cm Induktor spricht. Die Elektrizitätsmengen, die dabei in Bewegung gesetzt werden, sind minimal. Man kann sie etwas vergrößern, indem man die Funkenlänge verkleinert. Dies tut Marconi, indem er z. B. einen 30 cm Induktor mit einer Funkenlänge von 1 bis 2 cm arbeiten läßt.

Über die aufgewendete Leistung gibt eine kleine Rechnung Auskunft. Gewöhnlich arbeitet man mit einem Primärstrom von 5 bis 7 Ampere und einem 8 zelligen Akkumulator, der rund 18 Volt Spannung besitzt. Dies gibt eine sekundliche elektrische Leistung von etwa 100 Watt. Da die Induktionsapparate einen sehr geringen Wirkungsgrad haben, so wird man bei dauernder Funkengebung kaum mehr als 50 Watt d. i. etwa $^1/_{15}$ Pferdestärke auf Erzeugung elektrischer Wellen verwenden können. Für den ersten Funkenstoß wird natürlich die sekundliche Energie eine wesentlich größere sein. Immerhin wird die verbrauchte Primärarbeit einen vergleichenden Maßstab bieten können. Zur Erzielung größerer Funkeneffekte wird man also von den Induktionsapparaten abgehen und Dynamomaschinen an ihre Stelle setzen müssen.

Es bietet nun keine Schwierigkeit, durch Wechselstrommaschinen und Transformatoren hochgespannte elektrische Energie mit beliebigen Elektrizitätsmengen zu erzeugen. Die Anwendung von Maschinen zur Funkenerzeugung verlangt aber ein vollständiges Verlassen der Schaltung Marconi's.

Digitized by Google

Die Skizze (Fig. 95) zeigt eine Einrichtung, welche an Bord der deutschen Kriegsschiffe zur Zeit funktioniert. Die Wechselstrommaschine *W*, durch einen Elektromotor getrieben, speist die Primärwindungen des Hochspannungstransformators *T*, dessen Sekundärwindungen mit den Polen *A* und *B* verbunden sind.

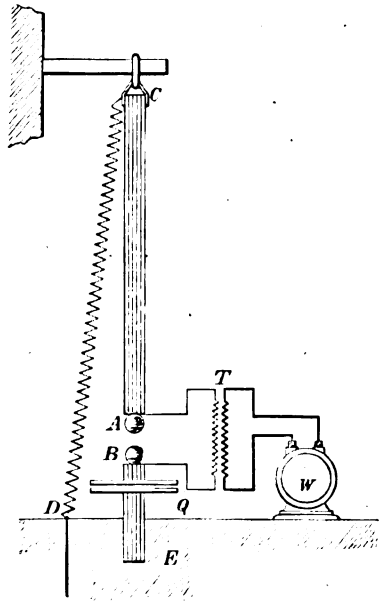


Fig. 95.

Der von diesen Polen ausgehende Schwingungskreis ist ein durch Erde geschlossener, besteht aber aus zwei in ihren Aufgaben und Wirkungen verschiedenen Teilen. Der Unterschied ist bedingt durch die sogenannte Selbstinduktion. Der Elektrotechniker bezeichnet mit diesem Namen eine Art von Trägheit, welche jeder Wechselstrom besitzt, der sich in einer Leitung ausbildet. Die Leitung selbst bietet für einen Wechselstrom gewissermaßen einen zusätzlichen Widerstand, der sich zu dem gewöhnlichen Widerstand hinzuaddiert. Die Größe dieses Zusatzwiderstandes ist aber abhängig von der Wechselzahl des Stromes, für Hochfrequenzströme kann er so enorme Beträge erreichen, daß die Ausbildung solcher Ströme fast völlig unmöglich gemacht wird. Durch Form und Anordnung der Drähte können wir aber auf die Größe der Selbstinduktion einen Einfluß ausüben. So haben metallische Bänder oder Röhren oder Drahtkäfige, ähnlich wie die hier im Saal angewandten, eine wesentlich geringere

Digitized by Google

Selbstinduktion wie dünne Drähte. Nun sind die Vertikalleiter *AC* und *BE* als solche Körper von tunlichst geringer Selbstinduktion ausgebildet, während die Verbindung *CD* von der Spitze zur Erde eine ziemlich hohe Selbstinduktion besitzt. In dem geschlossenen Kreise befindet sich ferner ein Kondensator *Q*, der fähig ist, große Elektrizitätsmengen aufzunehmen. Die Wirkungsweise der Anordnung ist nun die folgende: Die Wechselstrommaschine ladet unter Vermittelung des Transformators die Funkenstrecke *AB* zu so hoher Spannung, daß die oscillatorische Entladung einsetzt. Während der Ladeperiode, d. h. vor Auftreten des Funkens, ist die Sekundärspule des Transformators durch den gesamten Schwingungskreis inkl. Erde und Kondensator geschlossen. Der mit *A* verbundene Teil des Kreises liegt durch den Draht *CD* an Erde, behält also nahezu in seiner ganzen Ausdehnung die Spannung der Erde, die Ladung erfolgt fast ausschließlich in den Kondensator. Die Selbstinduktion hat bei diesem Vorgang zwar Einfluß, angesichts der geringen Periodenzahl des Wechselstroms aber keinen erheblichen. Dies ändert sich jedoch sofort, sobald durch die Funkenbildung der Entladungsstrom mit seiner ungeheuren Frequenz einsetzt. Für diesen wirkt die hohe Selbstinduktion in dem Drahte *CD* wie eine Absperrung und es bilden sich die schnellen Oscillationen, die den Äther erschüttern, fast nur in dem vertikalen Leiter mit geringer Selbstinduktion aus. Nun sind aber daran beteiligt die gewaltigen Elektrizitätsmengen, die vorher in dem Kondensator aufgespeichert wurden. Es ist klar, daß wir jetzt ganz andere Energiewerte in Strahlung umsetzen können wie mit einem Ruhmkorff'schen Induktor.

Eine ähnliche geschlossene Schaltung empfiehlt sich auch für den Empfänger (Fig. 96), wenn auch aus anderen Gründen.

Digitized by Google

Bei Marconi's Anordnung ist der Fritter einerseits mit einem isolierten Vertikaldraht, andererseits mit Erde verbunden. In einer Parallelschließung zum Fritter befindet sich das Relais mit seinem Trockenelement. Es ist klar, daß alle vom Vertikaldraht aufgefangenen elektrischen Impulse zwar einerseits die Möglichkeit haben, auf den Fritter zu wirken und denselben unter Funkenbildung zu einem Leiter zu machen, andererseits aber auch durch den Relaiskreis unter Umgehung des Fritters direkt zur Erde wandern können. Der Impuls wird sich also teilen und nicht in seiner vollen Stärke im Fritter zur Wirkung kommen. Marconi hat diesen Übelstand dadurch zu vermindern gesucht, daß er in den Relaiskreis Spulen mit großer Selbstinduktion geschaltet hat; das ist ein gutes Mittel, denn die Selbstinduktion sperrt den Weg für die schnellen Schwingungen, es ist aber kein unschädliches Mittel, denn der hohe Widerstand der Selbstinduktionsspulen schwächt die Empfindlichkeit des Relais. Wenn man dagegen auch hier das obere Ende des Vertikalleiters von geringer Selbstinduktion mit der Erde verbindet und in die Erdverbindung des unteren Endes das Relais und seine Batterie schaltet, so müssen die vom Vertikalleiter aufgefangenen schnellen Schwingungen fast ohne Abzug durch den Fritter zur Erde übergehen.

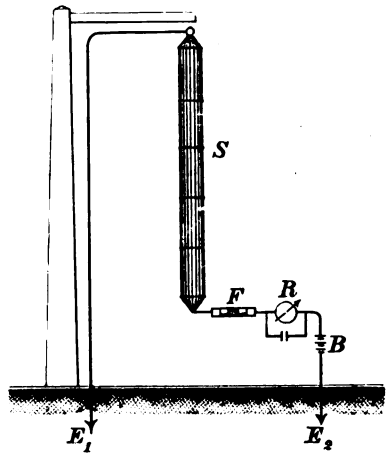


Fig. 96.

Eine weitere Neuerung bezieht sich auf die Konstruktion des Empfangsapparates. Bei der auch von Marconi be-

Digitized by Google

nutzten Popoff'schen Schaltung wird der Relaisstromkreis durch den Schlag des Klopfers auf die Frittröhre, also im Fritter selbst unterbrochen. Nun ist bekannt, daß der Öffnungsfunke eines Stromkreises viel verderblichere Wirkung auf die Kontaktstellen ausübt, als der Schließungsfunke. Den letzteren brauchen wir zur Zeichengebung, die damit verbundene Abnutzung der feinen Spitzen und Kanten des Fritterpulvers müssen wir also in den Kauf nehmen. Anders ist es mit dem Öffnungsfunken, der nur Schaden stiftet, aber keine Vorteile bietet. Man kann die Einrichtung so treffen, daß durch einen besonderen federnden Kontakt die Unterbrechung des Relaiskreises außerhalb des Fritters und vor dem eigentlichen Schlage des Klopfers erfolgt. Diese Anordnung gestattet nicht nur eine längere Erhaltung der Empfindlichkeit des Fritters, sondern bedingt auch eine promptere Auslösung desselben.

Diese drei Neuerungen ergaben sich vor etwa Jahresfrist im Anschluß an die Potsdamer Versuche. Sie entstanden aus gemeinsamer Arbeit mit meinem damaligen Assistenten, Herrn Grafen Arco.

Ich komme nun zur Anwendung der Funkentelegraphie in der Marine. Auf offener See arbeitet dieselbe unter den günstigsten Bedingungen. Man kann sagen, daß mit den gleichen Einrichtungen über See 2 bis 3 mal so große Entfernungen überwunden werden können, wie über Land. Woran liegt das? Früher glaubte ich, die größere Reinheit und Staubfreiheit der Atmosphäre sei die Ursache. Das ist aber nicht der Fall, denn schon das Telegraphieren an der Meeresküste entlang reduziert die Entfernung, die Luft dürfte dort nicht weniger rein sein, als auf offener See. Vielleicht ist die Tatsache einer eigentümlichen Flächenwirkung der See zuzuschreiben. Die von einem Funken ausgehenden elektrischen

Digitized by Google

Störungen pflanzen sich zwar nach allen Richtungen durch den Raum fort, sie gleiten aber mit Vorliebe an Leitern und Halbleitern entlang, wenn diese sich in der Richtung der Fortpflanzung erstrecken. Eine Fläche hat ähnlich günstige Wirkungen. Rückt man Geber und Empfänger des Funkentelegraphen dicht an die glatte freie Wand eines großen Saales, so erreicht man fast doppelt so große Entfernungen, als wenn die Apparate in der Mitte des Saales stehen. Ich hatte, um Messungen anzustellen, einen großen Saal meines Laboratoriums völlig ausräumen lassen und konnte an der langen Wand desselben die Tatsache immer konstatieren. Man ist geneigt, an besondere Flächenströme zu glauben. Vergleicht man nun die Meeresfläche, selbst bei bewegter See, mit der Bodenfläche des Landes, so erkennt man sofort einen großen Unterschied. Dort sind es die glatten Flächen der Wellen, an denen die elektrischen Impulse dahineilen, hier sind unendlich viel größere Wege zu durchmessen, denn wir müssen uns denken, daß an jedem Stein, ja an jedem Sandkörnchen, an jedem Grashalm die elektrischen Wellen hinauf- und hinabgleiten.

Hierzu tritt ein anderer bemerkenswerter Umstand. Wenn wir vertikale Sende- und Empfangsdrähte benutzen, so sind die elektrischen Wellen vertikal polarisiert. Treffen sie nun auf ihrem Wege einen anderen vertikalen linearen Leiter entsprechender Ausdehnung so bleiben sie gleichsam an diesem kleben und erzeugen in ihm einen pulsierenden Wechselstrom. Wir können uns leicht durch einen Versuch davon überzeugen. (Experiment.)

Es ist jetzt verständlich, warum alle linearen Erhebungen im Terrain, wie Baumstämme, Masten, Fahnenstangen, Schornsteine und Kirchtürme so außerordentlich hinderlich sind für die Funkentelegraphie. Das Telegraphieren über eine große

Digitized by Google

Stadt fort, hat, falls man nicht Luftballons zum Tragen langer Drähte benutzen kann, mit enormen Schwierigkeiten zu kämpfen.

Auch die Feuchtigkeit spielt hierbei eine Rolle. Auf der See stört weder Nebel noch Regen. Auf dem Lande ist das anders. Bäume, Masten und Bauwerke sind für gewöhnlich Halbleiter, in feuchtem oder gar durchnäßten Zustande verbessert sich ihre Leitungsfähigkeit. Sie saugen die elektrischen Wellen desto gieriger an und laden sie ein, an ihnen zu verweilen. Ich habe mein Laboratorium hier mit meinem Wohnhause in Charlottenburg durch einen Funkentelegraphen verbunden. Wenn auch die Entfernung keine sehr große ist, so müssen die elektrischen Wellen doch durch zahlreiche Hindernisse hindurch. Bei nassem Wetter muß ich nun die Funkenkraft wesentlich verstärken, um deutliche Telegramme zu erhalten. Auf der See kommen solche Hindernisse nicht in Frage. Selbst im dichtbesetzten Hafen sind die Masten der Schiffe immer noch weit genug verteilt, als daß sie die elektrische Strahlung ernstlich behindern könnten.

Anders ist es aber nun mit den Masten, Wanten und Drahtseilen der direkt beteiligten Schiffe. Diese bieten ein ernstliches Hindernis. Jedes Schiff ist hierbei als ein besonderes Individuum aufzufassen. Einrichtungen, die an Bord des einen Schiffes sich als vortrefflich erwiesen hatten, liefern auf anderen Schiffen wesentlich minderwertige Resultate, ohne daß man sofort ausreichende Gründe dafür erkennen kann. Hier wird die Erfahrung einsetzen müssen, die allerdings nur gewonnen werden kann in andauerndem Betriebe.

Die Einrichtungen, welche zur Zeit an Bord deutscher Kriegsschiffe getroffen worden sind, entziehen sich naturgemäß einer öffentlichen Erörterung, über die dienstliche Ordnung und die taktische Verwendung der Funkentelegraphie kann

Digitized by Google

ich mir ein Urteil nicht erlauben, wohl aber darf ich vielleicht mitteilen, was mir in Bezug auf die Verwendung der Funkentelegraphie im allgemeinen als besonders wichtig und angenehm aufgefallen ist. Das ist die Sicherheit und Präzision, mit welcher die Apparate von den Mannschaften unseres vortrefflichen Maschinenpersonals bedient wurden. Ich möchte dies um so mehr betonen, als man gerade hierüber nicht selten Bedenken hört. Man glaubt, es handle sich um diffizile physikalische Apparate, die nur von gelehrten Leuten verstanden und bedient werden können. Das ist nicht der Fall. Die an den Versuchen beteiligten Obermaate waren über den wissenschaftlichen Zusammenhang ausreichend orientiert und legten meinen Assistenten und mir nicht selten Fragen vor, die an Gründlichkeit und Verständigkeit nichts zu wünschen übrig ließen, sie konnten leider nicht immer mit gleicher Verständigkeit beantwortet werden. Bei den mehrmonatlichen Versuchen waren hin und wieder kleine Störungen und Abänderungen an den Apparaten unvermeidlich, dieselben konnten fast immer von dem Maschinenpersonal an Bord beseitigt werden. Der empfindlichste und wichtigste Teil des Apparates ist der Fritter. Seine Herstellung wird nicht selten mit einem gewissen Geheimnis umgeben. Nun, die größte Entfernung, auf welche an Bord S. M. S. Friedrich Carl telegraphiert wurde, 48 km mit 30 m Draht, erreichte man mit einem Fritter, den der Obermaat nach kurzer Anleitung an Bord sich selber fabriziert hatte. Der Mann war ein gelernter Schlosser. Die Funkentelegraphenapparate sind in dieser Beziehung also nicht etwa mit einem Chronometer zu vergleichen, dessen Reparatur man an Bord wohl nicht so leicht unternehmen würde.

Digitized by Google

7.

Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie.

(22. Dezember 1900.)

Im Konferenzsaal der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft.

Die Funkentelegraphie hat in letzter Zeit mehrfach praktische Anwendung gefunden. Am frühesten hat sich die Marine von den Vorteilen überzeugt, welche diese Telegraphie für sie bietet, und die Kriegsschiffe Englands, Frankreichs, Rußlands und Deutschlands sind heut bereits zum großen Teile mit den neuen Apparaten ausgerüstet. Die hohen Summen, welche die englische Marconi-Gesellschaft für die Benutzung ihrer Einrichtungen verlangte (es handelte sich für jeden Staat um mehrere Millionen), machte es den Seemächten, mit Ausnahme Englands, schwer, Marconi's Erfindung zu erwerben. Desto eifriger entwickelte sich in diesen Ländern das Bestreben, die nunmehr bewiesene Möglichkeit, mit elektrischen Wellen praktisch zu telegraphieren, durch andere technische Mittel zu erreichen.

Der Wunsch, auch unserer Marine ohne große Opfer die Funkentelegraphie zugänglich zu machen, war für mich die Veranlassung, ein anderes System auszubilden. Im Verein mit meinem damaligen Assistenten Herrn Grafen von Arco gelang es mir auch, eine neue Methode zu finden, über welche

Digitized by Google

ich im vorigen Jahre berichtet habe. Diese Methode ist sodann von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft technisch weiter gebildet worden und schließlich in der deutschen Marine zur Einführung gelangt. Seit etwa Jahresfrist ist dieselbe auf einer Reihe von deutschen Kriegsschiffen im Gebrauch und hat sich, wie ich gehört habe, auch bewährt.

Unsere damaligen gemeinschaftlichen Studien hatten aber, wie ich dies in meinem vorjährigen Vortrage auch ausgeführt habe, für mich wenigstens mit einer gewissen Enttäuschung geendet; es war uns nicht gelungen, etwas besseres zu finden, wir konnten günstigenfalls nur eine ähnliche Leistung aufweisen wie Marconi. Im Besonderen war unser Hauptbestreben, eine Abstimmung zwischen den korrespondierenden Apparaten zu erreichen, um ohne Störung durcheinander telegraphieren zu können, als gescheitert zu betrachten, und ich kann nicht leugnen, daß ich mich noch vor Jahresfrist etwas skeptisch in Bezug auf diese Möglichkeit überhaupt ausdrückte. Aber die Funkentelegraphie läßt den, der in ihren Bann geraten, nicht sobald wieder frei. Trotz aller früheren Enttäuschungen nahm ich das Studium im Sommer dieses Jahres von Neuem wieder auf, diesmal mit größerem Glück. Ich fand einige neue Gesichtspunkte, welche die Möglichkeit einer sicheren Abstimmung in unmittelbare Nähe rückten. Herr Geh.-Rat Rathenau hatte die Güte, die Erprobung der neuen Methoden mit den Kräften des Kabelwerks Oberspree unter der sachkundigen und genialen Leitung des Grafen Arco durchführen zu lassen, und was wir heut zeigen können, ist das Resultat einer Anfang Oktober begonnenen gemeinschaftlichen Arbeit, bei der Graf Arco in der Überwindung zahlreicher technischer Schwierigkeiten allerdings das Meiste geleistet hat.

Digitized by Google

Die Funkentelegraphie ist das zur Zeit noch dunkelste und schwierigste Kapitel der Elektrotechnik, besonders wenn es sich darum handelt, die Vorgänge messend und rechnerisch zu verfolgen. Ich will aber versuchen, durch Heranziehung analoger mechanischer Vorstellungen die Art der Lösung der Aufgabe zu veranschaulichen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie verdanken wir einem deutschen Gelehrten, Heinrich Hertz, der der Wissenschaft leider allzu früh entrissen wurde. Seine Forschungen bewegten sich auf einem Gebiet, welches weit ablag von der Möglichkeit praktischer Verwendung; es handelte sich für ihn um die Aufklärung fundamentaler Begriffe über das Wesen der elektrischen Erscheinungen. Wenn wir Techniker heute die Früchte seiner Forschung ernten dürfen, wollen wir dies nicht ohne ein tiefes Gefühl des Dankes erkennen und auch unsererseits denen entgegentreten, welche die Wissenschaft nur schätzen, sofern sie unmittelbaren Nutzen bringt.

Hertz fand, daß ein Funke, der auf einen gradlinigen Draht überschlägt, denselben in elektrische Erschütterung versetzt, welche sich von dem Draht aus in gesetzmäßiger Wellenbewegung mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum verbreitet, und daß diese in anderen Leitern, welche sie auf ihrem Wege trifft, wiederum elektrische Erscheinungen unter Funkenbildung hervorruft. Wir haben seitdem die Mittel kennen gelernt, diese Wirkungen so zu steigern, daß sie auch anders als bloß durch die Lupe des Forschers erkannt werden können. Ein Experiment soll das zeigen. In einen ausgespannten Draht leiten wir die Erschütterungen des Funkens, den ein kleines Ruhmkorff'sches Induktorium erzeugt. Aus einem zweiten, jenem in 1 m Entfernung parallel gezogenen Draht, der nicht die geringste metallische Verbindung mit dem ersten

Digitized by Google

hat, können wir 4 bis 5 cm lange Funken ziehen. Im Dunklen sehen wir beide Drähte gleichmäßig leuchten. Die strenge Gesetzmäßigkeit, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegt, hat Hertz uns völlig klar gelegt, der Techniker hat nichts weiter getan, als Mittel gesucht, diese Wirkung wesentlich zu steigern.

Die elektrische Erscheinung in diesen Drähten ist eine oscillierende, die wahrgenommene elektrische Spannung ist eine Wechselspannung, welche 5 Millionen Mal in einer Sekunde zwischen ihren positiven und ihren negativen Maximalwerten pulsiert. Wechselspannungen von dieser ungeheuren Frequenz sind unschädlich für den menschlichen Körper, an den trägen Nerven prallen sie wirkungslos ab. Pulsierten sie einige hunderttausendmal langsamer, so hätte ich die Berührung nicht wagen dürfen.

Die Wechselspannungen sind aber nicht gleichmäßig verteilt über die ganze Länge des Drahtes. Um sie sichtbar zu machen, habe ich sie auf photographische Platten einwirken lassen. Das entwickelte Bild zeigte deutlich eine Zunahme der Wirkung von der Funkenstrecke nach dem freien Ende des Drahtes hin.

Diese Tatsache legt es nahe, eine analoge mechanische Erscheinung zu betrachten. Wenn man einen geraden Stahldraht mit dem einen Ende in einem Schraubstock festspannt und das freie Ende erschüttert, so stellen sich Schwingungen ein, welche einen ähnlichen Charakter haben. Die Ausbiegungen, Amplituden genannt, sind am freien Ende des Drahtes am größten. (Fig. 97.) Genau so ist es hier, wenn wir die elektrischen Wechselspannungen als das Analoge jener mechanischen Ausbiegungen ansehen. Auch die Übertragung der Wirkung durch Wellenbewegung auf einen zweiten Draht können wir in diesem mechanischen Bilde ver-

Digitized by Google

anschaulichen. Biege ich den Stahldraht zu einem rechten Winkel mit gleichlangen Schenkeln und klemme ich nunmehr den Winkelpunkt fest, so wird jede Erschütterung des einen Drahtendes auf das andere übertragen. Es geschieht dies durch den festen Punkt hindurch, den man in Folge dessen als den Knotenpunkt der Schwingung bezeichnet, während die am stärksten schwingenden Teile die Schwingungsbäuche genannt werden.

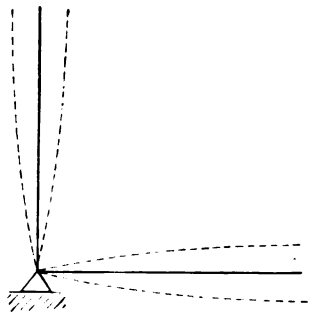


Fig. 97.

Allerdings darf, soll das Experiment gut gelingen, der Knotenpunkt nicht völlig festgehalten werden, er muß geringe Erschütterungen zulassen. Die Frequenz der Erschütterungen des Knotenpunktes muß aber eine solche sein, daß sie den Eigenschwingungen desjenigen Stahldrahtes entspricht, auf welche die Bewegung übertragen werden soll. Es ist klar, daß bei gleicher Länge der Schenkel diese Bedingung besonders gut erfüllt ist.

Die auf den zweiten Schenkel übertragene Bewegung können wir nun aber weiterleiten. Biegen wir einen Stahldraht von der 6 fachen Länge des freien Schenkels zweimal unter einem rechten Winkel wie Fig. 98 zeigt, so wird der Schwingungsbauch 2 sich der Verlängerung des Drahtes mitteilen und bei 3 einen freien Knotenpunkt, bei 4 wiederum einen Bauch erzeugen. Von hier aus teilt sich endlich die Bewegung durch den festen Knotenpunkt 5 dem Vertikaldraht *b* mit. Kurze Zeit, nachdem wir *a* in Schwingungen versetzt haben, werden wir eine völlig gleiche Bewegung an *b* erkennen. Die Übertragung erfolgt durch sogenannte stehende

Digitized by Google

Wellen in dem verbindenden Stahldraht. Die ganze Länge, welche einen Wellenberg und ein Wellental umfaßt, nennt man die Wellenlänge. Wir erkennen sofort die richtigen Bedingungen: Die Länge der frei schwingenden Drähte muß diejenige einer Viertel Wellenlänge sein.

Genau das Entsprechende finden wir bei dem elektrischen Vorgang. Die elektrischen Schwingungen, welche wir in einem Vertikaldraht *a* erzeugen, indem wir am unteren Ende Funken überspringen lassen, bilden am oberen Ende einen Schwingungsbauch, dessen Frequenz durch die Länge des Drahtes bestimmt ist. Diese Schwingungen teilen sich einem Medium mit, dem Äther, der neben der Luft den Raum erfüllt, sie pflanzen sich darin fort mit Lichtgeschwindigkeit in Form einer Welle, deren Länge genau viermal so groß ist wie die Länge des elektrisch schwingenden Drahtes, wir können sie bis auf einen Zentimeter genau bestimmen.

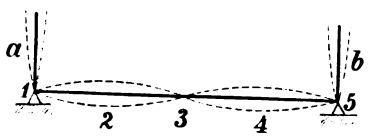


Fig. 98.

Treffen diese Wellen nun auf einen zweiten Draht *b* in beliebiger Entfernung, so versetzen sie ihn wiederum in elektrische Schwingungen, die am kräftigsten sein werden, wenn die Eigenschwingung desselben der Wellenfrequenz entspricht, d. h. wenn seine Länge genau eine Viertelwellenlänge und wenn das untere Ende ein Knotenpunkt ist. Beide Bedingungen können wir stets erfüllen, denn über die Länge können wir verfügen und dem unteren Punkt erteilen wir zwangsweise die Spannung Null, machen ihn also zum Knotenpunkt, indem wir ihn mit der Erde verbinden.

Die Funkentelegraphie wäre fertig, wenn wir ein Mittel besäßen, um die in dem Sekundärdraht erzeugten Wechselspannungen zur Wahrnehmung zu bringen.

Digitized by Google

Einen sichtbaren Funken bei Annäherung eines metallischen Gegenstandes, wie bei dem Versuch vorhin, werden wir kaum erzielen können, denn die Wirkung nimmt ab proportional der Entfernung. Hatten wir hier bei 1 m Entfernung eine Funkenlänge von 4 cm am Auffangedraht, so werden wir bei 100 km Entfernung bestenfalls nur eine Funkenlänge von vier zehntausendstel Millimeter erwarten dürfen. Das reicht selbst für die schärfste Lupe nicht aus, zudem müßte der Beobachter hoch oben auf luftigem Sitz an der Spitze des Drahtes seinen Aufenthalt nehmen.

Zum Nachweis dieser minimalen Spannungen müssen andere Mittel herangezogen werden. Das empfindlichste derselben ist die Branly'sche Röhre. Sie ist mit Metallpulver gefüllt und bietet bei loser Schichtung einen außerordentlich hohen Widerstand für den elektrischen Strom. Setzt man sie aber einer elektrischen Spannung aus, so springen zwischen den benachbarten Körnchen unendlich kleine, mit dem Auge nicht wahrnehmbare Funken über und bilden durch Kondensation von Metalldämpfen eine Brücke, sodaß ein elektrischer Strom die Röhre passieren kann. Eine kleine Erschütterung bringt die Brücken zum Einsturz und stellt den hohen Widerstand sofort wieder her. Mit den Enden der Röhre wird nun ein galvanisches Element verbunden und in den dadurch gebildeten Stromkreis ein elektrischer Signalgeber eingeschaltet. Setzt man das eine Ende der Röhre einer elektrischen Spannung aus, so schließt sich in der angegebenen Weise der Stromkreis und der Signalgeber gibt ein sichtbares oder hörbares Zeichen. Wir wollen eine solche Röhre einen Fritter nennen, da das oberflächliche Zusammenschmelzen loser Substanzen in der Technik als ein Frittprozeß bezeichnet wird.

Es entsteht nun die Frage: an welcher Stelle des Empfangsdrahtes sollen wir den Fritter anschließen? Offenbar dort,

Digitized by Google

wo die hervorgerufenen Wechselspannungen am größten sind. Verbinden wir den Empfangsdraht unten mit der Erde, so bildet sich dort, wie wir gesehen haben, ein Knotenpunkt der elektrischen Spannung aus, die Wirkungen können also nur minimal sein; am besten wäre die Verbindung an der Spitze des Drahtes. Das verbietet sich aber durch die Unzugänglichkeit dieses Punktes.

Früher hat man nun folgenden Weg beschritten: Man hing den Empfangsdraht isoliert auf und befestigte am unteren Ende den Fritter, dessen anderer Pol mit Erde verbunden wurde. Der Fritter hat, wie Messungen gezeigt haben, eine gewisse Kapazität, so daß das untere Ende des Empfangsdrahtes praktisch als ein Knotenpunkt für die vom Draht aufgenommenen elektrischen Schwingungen anzusehen ist. Nennenswerte Spannungen können sich also dort überhaupt nicht ausbilden. Da die Wirkung nun aber lediglich von der an den Fritter herantretenden Spannung abhängt, so ist diese Anordnung prinzipiell falsch. Sie gestattet nicht die Ausnutzung der maximalen Spannungen, die in dem Auffangedraht auftreten. Wenn diese Schaltung trotzdem Resultate ergeben hat, so ist dies nur dem Umstand zu verdanken, daß die Länge des Empfangsdrahtes meist nicht genau einer Viertel-Wellenlänge entspricht und daß der Sendeapparat außer den Hauptwellen auch noch parasitische Nebenwellen aussendet, welche am unteren Ende des Fangedrahtes die Ausbildung unregelmäßiger geringfügiger Spannungen zulassen. Darauf ist auch zurückzuführen das häufig unzuverlässige, vom Zufall abhängige, gleichsam launische Verhalten, welches den bisherigen Empfänger charakterisierte. Wenn man die Installation nach den üblichen Begriffen sachgemäß ausgeführt hatte, war man dennoch des Erfolges niemals ganz sicher. Es fehlte also das wesentliche Merkmal einer technisch brauch-

Digitized by Google

baren Einrichtung. Der frühere Empfänger gleicht einem menschlichen Ohr, welches statt des reinen Grundtons eines Instrumentes nur zufällige Nebengeräusche und Obertöne wahrnimmt.

Wie muß nun aber die Schaltung ausgeführt werden? Unser mechanisches Beispiel gibt uns deutlich den Fingerzeig. Wir müssen durch direkte Erdung des Fangedrahtes (Fig. 99) einen sicheren Knotenpunkt ausbilden und die aufgefangenen Wellen durch diesen hindurchleiten. Ein dort angeschlossener Draht von gleicher Länge wie der Empfangsdraht erzeugt am freien Ende einen kräftigen Schwingungsbauch der elektrischen Spannung, in ähnlicher Stärke wie an der freien Spitze des Drahtes. Er bietet aber den Vorteil der Zugänglichkeit. Es ist nicht nötig, den Verlängerungsdraht gradlinig zu führen, wir können ihn auch auf größere Spulen wickeln, wie Sie deren mehrere in diesem Saal erblicken. Hierdurch ist es nun zunächst gelungen, die Präzision und Sicherheit der Zeichengebung in überraschendem Maße zu verstärken: es ist der Kernpunkt der Ihnen heut vorzuführenden Erfindung.

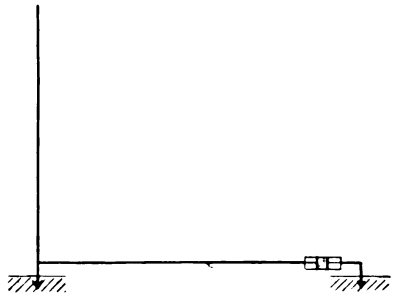


Fig. 99.

Die Einrichtung gestattet aber noch mehr. Sie ermöglicht, daß vorhandene Leiter, welche wie Blitzableiter, Fahnenstangen und eiserne Schiffsmaste an sich schon geerdet sind, ohne weiteres als Fangedrähte für die Funkentelegraphie benutzt werden können. Die Telegramme, welche wir nachher hier aufnehmen werden, sind am Blitzableiter des Schorn-

Digitized by Google

steins der elektrischen Zentrale gesammelt und wir haben nichts weiter zu tun gehabt, als von dem Erdungspunkt des Blitzableiters einen Draht von bestimmter Länge in diesen Saal bis an unsere Apparate zu führen. Die wirtschaftliche und technische Bedeutung dieses Umstandes liegt auf der Hand. Für die Benutzung der Funkentelegraphie innerhalb der Städte eröffnet sich hier ein weites Feld.

Diese allgemeinere Verwendung konnte bisher noch niemals ernstlich ins Auge gefaßt werden, weil der bisherigen Funkentelegraphie eine große Unvollkommenheit anhaftete. Es war nicht möglich, zwei Stationen derart auf einander abzustimmen, daß sie ungestört von anderen Stationen sicher mit einander korrespondieren konnten. Alle elektrischen Wellen, welche den Raum durchzogen, meldeten sich unweigerlich an jedem Empfangsapparat. Die Geheimhaltung einer Korrespondenz war unmöglich. Als unsere mit den älteren Einrichtungen versehenen Kriegsschiffe sich dem Hafen von Shanghai näherten, erhielten sie meilenweit vor der Rhede die Funkentelegramme, welche die dort stationierten englischen Kriegsschiffe miteinander austauschten.

Die Abstimmungsfrage ist jetzt als gelöst zu betrachten. Nach einer Mitteilung von Prof. Fleming in der „Royal Institution“ soll auch Marconi eine solche gefunden haben. Die Art der Lösung wünscht er aber vorläufig noch geheim zu halten.

Die Lösung, welche hier gefunden ist, gründet sich auf die besprochene Schaltung. Den Kern der Sache kann ich in wenigen Worten angeben. Zwei korrespondierende Stationen arbeiten mit vereinbarter Wellenlänge, deren Mannigfaltigkeit in weiten Grenzen möglich ist. Ich werde nachher erläutern, durch welche Mittel wir sie am Sendeapparat erzeugen. Wie können wir nun einen Empfangsapparat ein-

Digitized by Google

richten, daß er nur auf eine Wellenart von vereinbarter Länge anspricht? Ein erstes Mittel ergibt sich sofort. Machen wir die Drahtlänge des Auffangedrahtes genau gleich einer Viertelwellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen derselben, so wandern alle übrigen Wellen, für welche der Erdungspunkt kein Knotenpunkt ist, unweigerlich in die Erde, sie gelangen gar nicht zum Empfangsapparat. Derselbe ist für sie immun gemacht. Wir können auch sagen, um ein anderes Bild zu gebrauchen: wir sieben die Wellen oder wir filtrieren sie.

Dies Mittel gestattet Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Korrespondenz mit einer anderen Station. Die gleichzeitige Korrespondenz mit mehreren Stationen ist noch unmöglich, denn bezüglich der Wellenlänge sind wir an unseren Blitzableiter oder Schiffsmast gebunden, wir können ihn nicht nach Bedarf verlängern oder verkürzen.

Eine glückliche Eigenschaft der elektrischen Wellen hat aber auch die Lösung dieser Aufgabe gestattet. Für Wellen, welche genau viermal so lang sind wie der Auffangedraht, ist der Erdungspunkt ein reiner Knoten, wenn auch minimale Spannungsschwankungen möglich, ja, wie ich vorher zeigte, sogar ersprießlich sind. Ist der Verlängerungsdraht genau so lang, wie der Auffangedraht, so wandern alle Wellen von anderer Länge am Knotenpunkte in die Erde. Wir können aber auch diese Wellen zum Weiterwandern in einen Verlängerungsdraht veranlassen, wenn wir die Gesamtlänge des Drahtes, d. h. Auffangedraht plus Verlängerung gleich der halben Wellenlänge machen. Dann ist für diese Wellen der Erdungspunkt zwar kein reiner Knotenpunkt mehr, er läßt aber die Wellen fast ungeschwächt hindurch, und zwar nur diese Wellen, keine anderen. Ein Zahlenbeispiel mag dies erläutern. Wollen wir mit einem Blitzableiter von 40 m Höhe Wellen empfangen, deren Länge nicht $4 \cdot 40 = 160$ m, sondern

Digitized by Google

vielleicht 200 m beträgt, so haben wir als Gesamtdrahtlänge 100 m zu wählen, d. h. an den Blitzableiter von 40 m noch eine Drahtlänge von 60 m anzuschließen.

Dies einfache Mittel gestattet in ziemlich weitem Umfange, eine Empfangsstation zur Aufnahme verschiedener Wellenlängen einzurichten. Man hat nur für einen geeigneten Vorrat jener großen Drahtspulen Sorge zu tragen und eventuell soviel Empfangsapparate aufzustellen, als die Zahl der Stationen beträgt, mit denen man zu korrespondieren wünscht. Denn die Durchsiebung der Wellen vollzieht sich in so sicherer und exakter Weise, daß wir sogar mit einem und demselben Fangedraht verschiedene Telegramme zu gleicher Zeit aufnehmen können, und zwar Telegramme, welche aus ganz verschiedenen Richtungen und Entfernungen ankommen.

Der Ingenieur ist aber gewohnt, mit einem Sicherheitskoëffizienten zu arbeiten. Auch im vorliegenden Fall haben wir die Aufnahme der Zeichen zu sichern getrachtet durch Vermehrung der Präzision und Steigerung der Wirkung. Dies leistet ein kleiner Apparat von bemerkenswerter Einfachheit, den ich bei meinen Studien eigentlich zufällig fand, dessen Wirkungen mich aber überraschten. Dieser Apparat besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer Drahtspule von bestimmter Form und Wickelungsart, die von der Wellenlänge abhängen. Sie hat die Eigenschaft, die Geschwindigkeit eines elektrischen Impulses herabzusetzen; hieraus resultiert aber eine wesentliche Vermehrung der Spannung, sodaß ich den meines Wissens bisher unbekannten Apparat einen Multiplikator nennen möchte. Er ist nicht mit einem Transformator zu verwechseln, denn die sekundäre Wickelung ist ihm fremd.*)

*) Wie ich mich später überzeugt habe, ist eine ganz ähnliche Einrichtung bereits vor einigen Jahren von Oudin für therapeutische Zwecke benutzt worden. Der Verfasser.

Digitized by Google

Durch ein akustisches Analogon kann ich die Wirkung des Multiplikators erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche in Schwingungen versetzt wird, wenn ich mit einem Hammer dagegen schlage. Sie tönt akustisch, wie der Auffangedraht elektrisch ertönt, wenn er von Ätherwellen getroffen wird. Der erzeugte Ton ist aber nur schwach, zudem verklingt er bald, er besitzt eine starke Dämpfung. Das rührt von den Widerständen her, welche die schwingenden Zinken der Stimmgabel zu überwinden haben. Wir besitzen aber ein Mittel, die Schwingungen erheblich zu verstärken und ihre Dauer zu verlängern. Das ist der Resonanzboden; bringe ich die schwingende Stimmgabel damit in Berührung, so wird der Ton sofort lauter und andauernder. Wir übersetzen die akustischen Schwingungen auf ein anderes Medium, welches eine geringere Dämpfung besitzt und die Schwingungsamplituden verstärkt.

Was der Resonanzboden für eine echte Stradivari, das leistet der Multiplikator für die Funkentelegraphie, die Zeichen werden dadurch stärker und reiner.

Schalten wir eine solche abgestimmte Multiplikationsspule zwischen Verlängerung des Auffangedrahtes und Fritter, so erzielen wir größere Spannungen am Fritter, vermehren also die Sicherheit des Ansprechens. Außer der Verstärkung findet durch den Multiplikator aber auch eine nochmalige Reinigung der Wellen statt. Er läßt nämlich nur solche hindurch, für welche er selber abgestimmt worden ist, alle übrigen, die zu groß oder zu klein sind, werden, falls sie der unreine Knotenpunkt an der Erdleitung durchgelassen haben sollte, von der Spule reflektiert. Die Multiplikationsspule versperrt ihnen gleichsam den Zugang zum Fritter.

[Ein angestellter Versuch zeigte, daß die aus einem geraden, von elektrischen Schwingungen erfüllten Draht zu

Digitized by Google

ziehende Funkenlänge von 1 cm, nach Zufügung des Multiplikators auf 10 cm anstieg. Das Drahtende des Multiplikators zeigte dabei an sich schon eine weithin sichtbare Strahlung, die man durch einfache Annäherung der Hand an die Spule sofort zum Verschwinden bringen konnte.]

Es bliebe nun noch zu erörtern, durch welche Mittel elektrische Wellen von bestimmter und vereinbarter Länge an der Sendestation erzeugt werden.

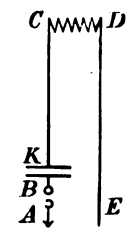


Fig. 100.

Wir benutzen hierzu eine Modifikation derjenigen Einrichtung, welche ich bereits vor einem Jahre bekannt gegeben habe und welche seitdem bei unserer Marine in Anwendung steht.

Wir gingen dabei von dem Gesichtspunkt aus, daß die Funkentelegraphie eine elektrische Kraftübertragung ist. Abgesehen vom Wirkungsgrad empfiehlt sich diejenige Sendemethode, bei der es gelingt, die größtmögliche elektrische Energie in die oszillierende Form umzusetzen. Hierzu ist nicht nur eine hohe Spannung dienlich, sondern auch eine große Elektrizitätsmenge. Wir erzeugen dieselbe, indem wir statt eines isolierten Drahtes eine geerdete Sendeschleife benutzen (Fig. 100), welche zur Vergrößerung der Elektrizitätsmenge einen Kondensator K enthält. Diesen verwenden wir in der Form der bekannten Leydener Flaschen. Für den Ladungsvorgang derselben benutzen wir die gesamte durch Erde geschlossene Schleife, für den Entladungsvorgang dagegen, der mit dem Einsetzen des Funkens beginnt und die für die Fernwirkung allein wirksamen schnellen elektrischen Schwingungen hervorruft, verwenden wir nur den ersten Vertikalleiter KC. Der Übertritt dieser Schwingungen in die Ableitung zur Erde wird verhindert durch Einschaltung einer stark verstimmten Spule CD von großer elektrischer

Digitized by Google

Trägheit an der Spitze der Leiter. Wir haben vorhin schon gesehen, daß eine solche Spule wie eine Barriere wirkt, wie eine Mauer, an welcher die schnellen Schwingungen zurückprallen, d. h. reflektiert werden. Die Fernwirkungen können nunmehr lediglich von dem ersten Vertikaldraht ausgehen und werden nicht gestört durch etwaige Gegenwirkungen des zweiten Vertikalleiters *DE*. Die von einem solchen Sender ausgehenden elektrischen Wellen sind in ihrer Länge vollständig bestimmt durch die Drahtlänge und durch die Größe des Kondensators. Wir können sie aber in jedem beliebigen Maße verändern durch Einschaltung abgestimmter Spulen, deren Trägheitswirkung die Frequenz der Schwingungen herabsetzt. Jeder Frequenz entspricht aber eine genau zu berechnende Wellenlänge.

Inwieweit es gelungen ist, durch die geschilderten Einrichtungen eine störungsfreie Mehrfachtelegraphie zu erreichen, mögen die nunmehr anzustellenden Versuche zeigen.

Die hier befindlichen zwei Empfangsapparate sind angeschlossen an einem und demselben Blitzableiter am Schornstein der elektrischen Zentrale Schiffbauerdamm. Nach den bisherigen Anschauungen ist dies die denkbar ungünstigste Einrichtung. Es kann auch kein Zweifel darüber bestehen, daß ein großer Teil der ankommenden Schwingungsenergie in den Schornstein wandert und nutzlos zur Erde geführt wird. Der geringe Anteil, welcher auf die Spitze des Blitzableiters fällt, reicht aber vollkommen aus zur sicheren Zeichengebung. Es werden von zwei verschiedenen Sendestationen gleichzeitig Telegramme entsendet werden. Die eine Station ist in meinem Laboratorium in der Technischen Hochschule in Charlottenburg, etwa 4 km entfernt. Der Sendedraht führt dort zum Fenster hinaus nach der Spitze eines Mastes von 16 m Höhe auf dem Dach des Gebäudes. Das

Digitized by Google

Fenster liegt nach Westen, der große Gebäudekomplex der Hochschule steht somit direkt im Wege der Strahlen. Nur von der geringen Drahtlänge, die über dem Dach sich befindet, können elektrische Wellen nach hier entsendet werden. Die andere Station ist in Schönweide, auf dem Kabelwerk

Drahtlose Mehrfachtelegraphie.

I. Empfänger: *1 Blitzableiter gemeinschaftlich für Empfangsapparat 1 u. 2, Schiffbauerdamm.*

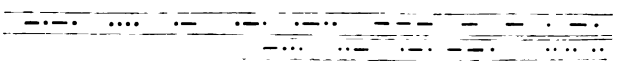
Empfangsapparat *1. auf Charlottenburg [4 km] abgestimmt.*

Empfangsapparat *2. auf Schönweide [15 km] abgestimmt.*

II. Geber *No. 1 Technische Hochschule Charlottenburg [λ im Empfangsdraht 640 m].*

Geber *No. 2 Zentrale Schönweide [λ im Empfangsdraht 240 m].*

No. 1.



No. 2.

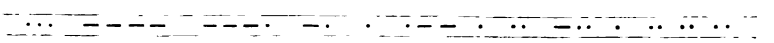


Fig. 101.

Oberspree, 15 km entfernt. Der Sendedraht hängt dort zwischen zwei Schornsteinen, die elektrischen Wellen haben Berlin zu überfluten in seiner größten Ausdehnung von Südost nach Nordwest, zahllose hohe Schornsteine, Turmspitzen und Häusergiebel stellen sich den Wellen entgegen und brechen ihre Kraft.

Wir wollen nun zuerst Charlottenburg anrufen und mit der dortigen Station allein verkehren, sodann mit Schönweide und schließlich Telegramme von beiden gleichzeitig aufnehmen.

[Der hierauf angestellte Versuch ergab eine völlig fehlerfreie gleichzeitige Korrespondenz mit einer Geschwindigkeit von 72 Buchstaben in der Minute. Obenstehend ist eine Abbildung (Fig. 101) von zwei gleichzeitig aufgenommenen Telegrammen.]

Digitized by Google

8.

Die Technik der elektrischen Wellen.

(1901.)

Jede unvermittelte Wechselwirkung zwischen räumlich getrennten lebenden Wesen hat etwas merkwürdig Bestrickendes, und die Befreiung von den Schranken des Raumes auch in dieser Beziehung war von jeher ein Lieblingstraum der Menschheit. Einzelnen Naturen, so lautet der Glaube im Volke, soll die Fähigkeit innewohnen, Dinge zu wissen, die weit entfernt sich ereignen, und besonders aus dem Orient werden merkwürdige Vorkommnisse berichtet. Wenn während der englisch-afghanischen Kriege die schnellsten Reiter entsendet wurden, um Truppenkörpern, 50 Meilen entfernt, Befehle zu überbringen, so kamen sie häufig zu spät: die Eingeborenen hatten bereits davon erfahren und Gegenmaßregeln ergriffen. Der Tod des Generals Gordon war in den Straßen von Kairo am selben Tage bekannt, obwohl die Telegraphenlinie zerstört war. Weniger wunderbar, aber nicht minder interessant klingt, was ein Reisender von einem Indianerstamm des Amazonenflusses berichtet. Er fand dort in der Hütte des Häuptlings, zur Hälfte in Erde vergraben, ein Instrument, das, mit einem Hammer berührt, Signale nach einer anderen weit entfernten Hütte übertrug. Eine ver-

Digitized by Google

bindende Erzader oder ein unterirdischer Wasserlauf könnte uns dieses Phänomen erklären.

Ratloser standen aber die meisten den ersten Versuchen Marconi's gegenüber, obwohl die Telegraphie ohne verbindenden Draht an sich nicht neu war. Tesla, Edison und Preece hatten bereits vor Jahren Einrichtungen hierfür ersonnen, Edison sogar das Problem gelöst, von einem fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphieren. Auch die von Marconi zuerst benutzte fernwirkende Kraft des Funkens war an sich durchaus nicht neu, ja schon vor mehr als hundert Jahren hatte sie sich der Forschung gleichsam aufgedrängt, sie war nur nicht beachtet und in ihrer wahren Bedeutung erkannt worden. Der Beobachtung einer Frau verdanken wir nach den Überlieferungen die erste Wahrnehmung des Phänomens. Die Gattin Galvani's half ihrem Manne mit geschickten Händen die feinen Nerven eines Froschschenkels für physiologische Untersuchungen präparieren. Er selbst arbeitete in einiger Entfernung davon an einer Elektrisiermaschine und zog Funken aus derselben. Da beobachtete sie mit Staunen jedesmal, wenn dort an entfernter Stelle ein Funke übersprang und sie selbst zugleich mit dem Messer den Nerv des Frosches berührte, eine Zuckung des Schenkels. Zwischen dem funkenerzeugenden Gatten und ihr selbst bestand also ein geheimnisvoller elektrischer Zusammenhang, der seine Wirkungen durch den Raum übertrug, — eine drahtlose Telegraphie.

Die damalige Beobachtung blieb fruchtlos; der eigensinnige Gelehrte wollte sie durchaus auf geheimnisvolle animalische Kräfte zurückführen. Es wurde eine berühmte wissenschaftliche Streitfrage daraus, welche bald hinüber spielte auf ein anderes Gebiet, dasjenige der Berührungselektrizität, und ein größerer als Galvani: Alessandro Volta, beendete den Kampf durch die glänzendste Entdeckung des

Digitized by Google

naturwissenschaftlichen Zeitalters, den elektrischen Gleichstrom. Nach fast hundert Jahren kehrt die Wissenschaft zu jenem ersten Phänomen zurück, ein deutscher Forscher: Heinrich Hertz, deutet uns den Zusammenhang durch das Spiel elektrischer Wellen, und ein jugendlicher Landsmann Galvani's: Guglielmo Marconi, zieht in wenigen Jahren rastloser Arbeit daraus die wichtigsten technischen Folgen, indem er Telegramme durch die Luft entsendet auf hundert Kilometer und mehr.

Die Sensation, welche diese Versuche hervorriefen, ließ sich in dem Kursrückgange der englischen Telegraphengesellschaften ziffernmäßig erkennen. Doch die Gewöhnung des Menschen an die Verwertung früher unbekannter Naturkräfte ist eine erstaunlich schnelle. Was uns vor wenig Jahren fast wie ein Wunder berührte, erscheint uns heute als selbstverständlich und naheliegend. Ich spreche mit Absicht von „Gewöhnung", denn von eigentlichem Verstehen ist auf dem ganzen Gebiet der Elektrizität leider noch wenig die Rede. Je schneller wir eine neue Tatsache in den Kreis unserer gewohnten Vorstellungen einordnen können, desto leichter vollzieht sich der geistige Assimilierungsvorgang, den wir „Verstehen" nennen. Bei der Funkentelegraphie hatten diejenigen, welche mit ihren physikalischen Vorstellungen an die Tatsachen anknüpfen mußten, die sie vor dreißig und mehr Jahren auf der Schulbank erfahren, allerdings mit etwas größeren Schwierigkeiten zu kämpfen. Sie hatten sich zunächst in der für sie neuen Welt der elektrischen Wellen zurechtzufinden. Denn es schien anfangs unmöglich, die Fernwirkung des Funkens anders als durch den Begriff einer wellenartigen elektrischen Strahlung, wie ihn Maxwell eingeführt hatte, zu erklären. Und doch ist dieser Begriff nur eine Hypothese, wie so viele andere Grundvorstellungen der

Digitized by Google

Physik. Heute, wo wir die Gesetze der Funkentelegraphie besser übersehen, können wir ihre Erklärung ganz gut auch auf ältere Vorstellungen zurückführen. Es sind die wohlbekannten Erscheinungen der elektrischen Induktion, die ich dazu heranziehen will.

Wenn ein stromführender Leiter auf längerer Strecke einem zweiten an sich stromlosen Leiter parallel geführt ist, so kann in diesem unter gewissen Umständen ein Strom hervorgerufen werden, ohne daß direkte elektrische Kräfte dabei mitwirken. Wir brauchen nur den Strom in dem ersten Leiter, den wir „Primärstrom“ nennen wollen, in seiner Stärke zu ändern, sofort entsteht in dem zweiten Leiter ein allerdings schnell vorübergehender „Sekundärstrom“. Und zwar entspricht jeder Zunahme des Primärstromes ein entgegengesetzt gerichteter, jeder Abnahme desselben ein gleichgerichteter Sekundärstrom. Da beide Stromleiter metallisch völlig getrennt sind, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die elektrische Erscheinung von dem Primärdraht durch die Luft auf den Sekundärdraht übertragen wird. Besonders auffallend und regelmäßig wird das Phänomen bei einem periodisch unterbrochenen oder wechselnden Primärstrom. Dann wird der Sekundärdraht zum Träger eines andauernden Wechselstromes, dessen Periodenzahl oder Frequenz mit der des Primärstromes übereinstimmt. Von dem Primärstrom gehen die Wirkungen aus, der Sekundärdraht ist gewissermaßen nur ein elektrischer Fühler, der uns von dem Vorgang in dem Primärdraht Kenntnis gibt.

Der elektrische Gleichstrom hat diese merkwürdige Eigenschaft nicht. Mag er tausende von Pferdestärken durch einen Draht dahintragen, kein sichtbar oder fühlbar nach außen dringendes Zeichen verrät uns die Herkulesarbeit der elektrischen Kräfte. Es ist ähnlich wie mit dem Wasser, das

Digitized by Google

durch eine Rohrleitung dahinbraust — kein Merkmal an der Außenwand des Rohres läßt auf den Vorgang im Innern schließen. Und doch können wir mit dem Druckwasser gewaltige Kräfte übertragen. Wie ändert sich aber das Bild, wenn der Wasserstrom plötzlich gehemmt wird, etwa durch Schließen eines Ventiles! Ein heftiger Stoß erschüttert das Rohr, nicht selten so stark, daß die Wandung zerreißt. Nehmen wir an, daß das Wasser sogar seine Bewegungsrichtung ändert, viele male in einer Sekunde, so würden die Erschütterungen des Rohres in gesetzmäßiger Wiederholung sich der umgebenden Luft mitteilen und Schallwellen von bestimmter Tonhöhe in unser Ohr senden. Die Erschütterungen unseres Trommelfelles geben uns jetzt Kunde von dem inneren Vorgang im Wasserrohr. Wir wissen, sie werden übertragen durch die gesetzmäßigen Schwingungen der in Mitleidenschaft gezogenen Luft.

Ganz ähnlich können wir uns den Vorgang bei der Übertragung einer elektrischen Erschütterung denken. Nur die Luft ist entbehrlich, denn die Übertragung erfolgt ebenso gut auch durch den luftleeren Raum. Nun ist aber die heutige mechanische Naturauffassung ein geschworener Feind aller Erklärungen, welche die Möglichkeit einer Übertragung von Kräften ohne die Mitwirkung stofflicher Materie zur Voraussetzung haben; man hat darum einen Stoff erfunden, den Weltäther, welcher, den menschlichen Sinnen zwar nicht wahrnehmbar, dennoch elektrische Impulse ebenso weiterzutragen imstande sein soll, wie der Wasserspiegel die Wellenringe eines Steinwurfes, oder wie die Luft, wenn sie das leise Erzittern der Violinsaite durch rhythmische Schwingungen auf unser Ohr überträgt.

Wir dürfen aber in diesen Erklärungen nichts weiter suchen, als ein Mittel, um die verschleierten Äußerungen der

Digitized by Google

Natur dem beschränkten Fassungsvermögen des menschlichen Geistes greifbarer zu gestalten und ihre Einschachtelung in die verschiedenen Fächer und Kasten unseres Gehirns zu erleichtern. Wir gleichen hierin den Kindern, die bunte Muscheln am Strande des Ozeans sammeln und nach Größe und Farbe ordnen. Ein herrliches Geschenk hat uns aber die Allmacht verliehen: das ist die Fähigkeit, die Gesetze zu erkennen, nach denen das Walten der Natur sich ordnet, und diese Gesetze wiederum zum Wohle der Menschheit schöpferisch zu verwerten. In dieser Tätigkeit reichen sich Forscher und Ingenieur zu ersprießlichem Bunde die Hände.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus die neue Naturerscheinung, welche an der Wende des Jahrhunderts der Menschheit gleichsam als eine reife Frucht zuteil geworden ist. Die Ermittlung der Gesetze der elektrischen Induktion verdanken wir dem größten naturwissenschaftlichen Forscher des vergangenen Jahrhunderts: Michael Faraday. Er und seine Nachfolger zeigten uns, daß die Kräfte, welche ein elektrischer Strom in einem von diesem völlig getrennten Drahte hervorruft, am stärksten sind, wenn die Drähte eine parallele Lage haben, wenn sie tunlichst lang sind, wenn der Mittelwert des Primärstromes und die Schnelligkeit der Änderung möglichst groß sind. Unter sonst gleichen Verhältnissen nimmt die übertragene Wirkung mit der Entfernung ab, aber nicht wie bei den von einem elektrischen Zentrum ausstrahlenden Kräften mit dem Quadrat, sondern mit der einfachen Entfernung. Bezeichnet l die Länge der parallelen Leitungen, a ihren Abstand, J die mittlere primäre Stromstärke und T die Zeitdauer der periodischen Schwankungen, also $\frac{1}{T}$ die Anzahl derselben in einer Sekunde oder ihre Frequenz, so ist die elektrische Erregung in dem Sekundärdraht proportional dem Ausdruck $\frac{l J}{a T}$, die Übertragungs-

Digitized by Google

weite also proportional $\frac{l^2 J}{T}$. Ein einfaches Experiment wird uns von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugen. Hier sind, Fig. 102, in der Länge des Saales zwei parallele Leitungen übereinander ausgespannt; die obere ist Teil eines Kreises, in welchem ich mittels einer Batterie B und eines regulierbaren Widerstandes W durch einen rotierenden Unterbrecher T absetzende, also veränderliche Ströme J erzeuge. Der zweite, darunter befindliche Draht ist gleichfalls durch eine Leitung geschlossen und enthält zum Nachweis der darin erzeugten Sekundärströme ein Telephon E; dieser Kreis ist von dem ersten völlig isoliert. Lasse ich nun den Unterbrecher spielen, so liefert das Telephon weithin hörbare Töne. Eine schnellere Unterbrechung erzeugt einen lauteren und höheren Ton; eine Vergrößerung der Entfernung der parallelen Leitungen verringert die Tonstärke. Kürze ich die parallel geführten Drähte, so geht der Ton gleichfalls merklich zurück. Eine Verstärkung des Stromes durch Ausschaltung des Widerstandes W läßt ihn von neuem anschwellen.

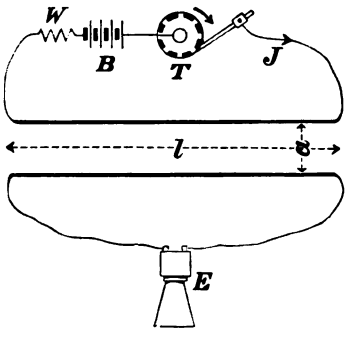


Fig. 102.

Das sind die einfachen Grundgesetze, welche auch die heutige drahtlose Telegraphie befolgt. Man könnte die Frage aufwerfen, warum die Nutzanwendung auf große Entfernungen, die das Überraschende der neuen Erfindung ausmacht, nicht schon zu Faraday's Zeiten versucht wurde. Der Grund liegt heute klar zutage. Daß bei Verlängerung der Paralleldrähte die Übertragungsweite zunimmt, wurde zwar erkannt, zunächst indessen nur als Störung empfunden in langen Telephon-

Digitized by Google

leitungen, welche vorhandenen Telegraphenleitungen auf weite Strecken hin parallel liefen. Sir William Preece verdanken wir ein näheres Studium dieser Erscheinung. Zwischen Durham und Darlington liefen auf 26 km zwei parallele Telegraphenleitungen, 16 km von einander entfernt; Preece stellte fest, daß mit Hilfe eines Telephons in der einen Leitung Morse-Telegramme, die auf der andern Leitung gesandt wurden, gehört werden konnten. Er gründete darauf ein System der drahtlosen Telegraphie und richtete auf verschiedenen Inseln in der Nähe des Festlandes mit Hilfe von parallelen Leitungen Telegraphenstationen ein, die zum Teil noch heute im Betriebe sind. Die kilometerlangen Drahtführungen, welche dieses System benötigt, beschränken indessen seine Verwendbarkeit auf einzelne besonders geeignete Fälle und genügen nur für geringe Entfernungen. Für telegraphischen Verkehr von Schiff zu Schiff oder von Schiff zu Land ist das System ungeeignet.

Abgesehen von der Stromstärke, die bis jetzt nur einer geringen Steigerung fähig ist, bleibt sonach, wie unsere Formel zeigt, die Frequenz der Stromschwankungen $= \frac{1}{T}$ der einzige Faktor, von dessen Zunahme sich ein nennenswerter Erfolg hoffen läßt. Daß dies nun in einem alle Erwartungen weit übersteigendem Maße möglich geworden ist, verdanken wir den glanzvollen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts, die mit dem Namen Heinrich Hertz ruhmvoll verbunden sind. Um den gewaltigen Unterschied, um den es sich handelt, gleich vorweg zu betonen, will ich erwähnen, daß die Zahl der Unterbrechungen oder Stromschwankungen, welche wir mit den früher allein bekannten rein mechanischen Mitteln erzeugen konnten, wenige hundert in der Sekunde nicht überschreitet, daß die neuen Hilfsmittel dagegen uns Wechselströme liefern, deren Frequenz

Digitized by Google

sich nach Millionen in der Sekunde beziffert. Die Übertragbarkeit von elektrischen Impulsen wird also dadurch auf 10 000 mal größere Entfernungen gesteigert.

Mit welch kunstvollen Einrichtungen muß die Maschine versehen sein, welche die Wechselzahl der Ströme in so erstaunlicher Weise vermehrt, daß schon ihr bloßes Zählen die Fähigkeit unserer Sinne weit übersteigt!

Als Faraday am Ende seines Lebens von einer Dame gefragt wurde, was die Elektrizität denn eigentlich sei, antwortete er: „Vor vierzig Jahren hätte ich geglaubt, die Frage beantworten zu können, heute vermag ich es nicht.“ Was würde er geantwortet haben, wäre ihm die Leistungsfähigkeit jener wunderbaren Maschine in ihrem vollen Umfange bekannt gewesen, jener Maschine, welche aus der Werkstatt der Natur unmittelbar ohne menschliches Zutun hervorgeht und die schon in den Kindheitstagen der Elektrizität den unbeholfenen Händen und Sinnen der Menschen zum ahnungslosen Spiel und unverstandenen Gebrauch sich auslieferte? Es ist der elektrische Funke, der diesen kunstvollen Mechanismus in sich birgt und seine erstaunliche Wirkung in dem rätselvollen Experiment der Frau Galvani's der Menschheit zum ersten Male offenbarte.

Der elektrische Funke ist nach der üblichen Ausdrucksweise der plötzliche Ausgleich entgegengesetzt gespannter Elektrizitäten. Dieser Ausgleich vollzieht sich zwar in der Form eines elektrischen Stromes, ist aber durchaus nicht etwa als ein einmaliger Austausch zu betrachten. Vergleichen wir die übertretenden Elektrizitätsmengen mit einer ungeheuren Anzahl elastischer Bälle, die hinübergeworfen werden und wieder zurückprallen und dieses Spiel in unermüdlicher Folge wiederholen, so kommen wir zu einem treffenden Bilde. Unfaßbar unseren Sinnen und durch mechanische Analogien

Digitized by Google

nicht zu erläutern bleibt aber die ungeheure Geschwindigkeit, mit der dieser pendelnde Ausgleich sich vollzieht. Die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wäre ein kindlicher Vergleich mit dem oszillierenden Sturm der elektrischen Partikel, die in einer Sekunde viele Millionen Mal in dem Funken ricochettieren.

Und doch, wenn ich alle Mittel in Anwendung bringe, die geeignet sind, die Geschwindigkeit herabzusetzen, kann ich dieses absetzende Ballspiel in seine einzelnen Phasen zerlegen. Wir wollen den von einem Funken *F* erzeugten Wechselstrom durch eine evakuierte Röhre *G* leiten, welche in bekannter Weise dadurch zum Leuchten kommt, und den Lichtstreifen in einem rotierenden Spiegel *S* betrachten, Fig. 103. Das Bild wird dadurch zu einem breiten leuchtenden Bande auseinandergezogen. Bei näherer Betrachtung aber löst sich dieses Band in eine Reihe von parallelen Streifen mit abnehmender Breite und Helligkeit auf. Hierbei erkennen wir die absetzenden, hin- und herschwingenden Entladungen, welche der Funke hervorruft.

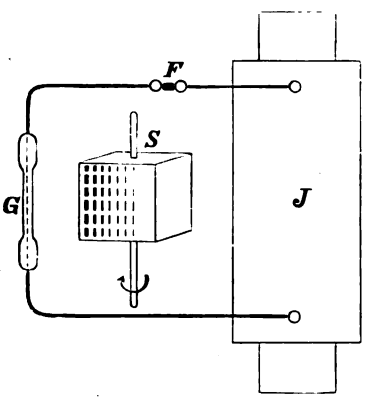


Fig. 103.

Wir können den Vorgang vergleichen mit der schwingenden Saite der Violine oder mit der vibrierenden Bewegung, in welche die entspannte Sehne einer Armbrust versetzt wird. Nach Auslösung der Spannung dauert es geraume Zeit, ehe diese zitternde Bewegung zur Ruhe kommt. Ganz ähnlich ist die schwingende oszillierende Entladung, wenn

Digitized by Google

die elektrisch gespannten Kugeln durch den springenden Funken in Verbindung gesetzt werden.

Die schnell oszillierenden Funkenströme haben nun aber weiter eine merkwürdige Eigenschaft, die wir noch vor dreißig Jahren als ganz unmöglich und allen Grundlehren der Elektrizität widersprechend bestritten hätten. Wir haben damals gelernt, daß elektrische Ströme nur in geschlossenen Leitungen bestehen können. Für Gleichströme gilt dieses Gesetz auch noch heute; die oszillierenden Funkenströme haben sich jedoch gänzlich davon freigemacht; sie können auch in ungeschlossenen Leitern bestehen, ja sie entwickeln

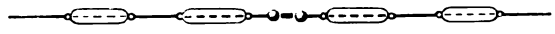


Fig. 104.

in diesen erst recht die Fähigkeit, weittragende Induktionswirkungen auszuüben. Alles Philosophieren würde uns diese Möglichkeit niemals erschlossen haben; ein einfacher Versuch führt es uns aber unmittelbar vor Augen. Mithülfe des bekannten Ruhmkorff'schen Induktoriums erzeuge ich zwischen zwei kleinen Metallkugeln ein dauerndes Funkenspiel — eine Reibungselektrisiermaschine oder eine Influenzmaschine könnte ebenso gut dazu dienen. Mit beiden Kugeln habe ich nach rechts und links gradlinig ausgespannte Drähte verbunden, die isoliert an den Wänden des Saales befestigt sind, Fig. 104. Eingeschaltet in diese Drähte sind ein Paar gewöhnliche Glühlampen mit linearem Faden. Das Aufleuchten derselben zeigt uns unwiderleglich, daß sie von einem Strome durchflossen werden. Von den sich entladenden Kugeln stürzen sich die elektrischen Ströme gleichsam nach beiden Seiten in die offenen Leitungen, werden am Ende reflektiert und wiederholen dieses Spiel einige Millionen mal in der Sekunde.

Digitized by Google

Sie haben bemerkt, daß die beiden Glühlampen in der Nähe der Funkenstrecke stärker leuchten als die anderen. Schalteten wir Meßinstrumente an verschiedenen Stellen in die Leitungen, so würden wir die Ströme sogar messen können. Eine auffallende Tatsache würde sich dabei enthüllen: die Stärke der elektrischen Strömung ist nicht an allen Stellen die gleiche. Hier in der Mitte des Saales, in

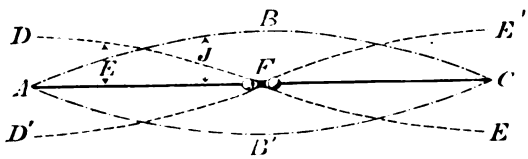


Fig. 105.

der Nähe der Funkenstrecke, würden die Amperemesser wesentlich größere Ausschläge zeigen als dort in der Nähe der freien Drahtenden. Tragen wir die größten Stromstärken als positive und negative Ordinaten an den verschiedenen Stellen der Drähte auf, so erhalten wir den gesetzmäßig gerundeten Bauch einer Sinuslinie, *A B C*, Fig. 105. An den Drahtenden, den Reflexstellen, sinkt die Strömung auf null. In der Funkenstrecke, wo die hocherhitzten Gase und Metalldämpfe die beiden Drähte leitend verbinden, erreicht die pendelnde Strömung ihren größten Wert.

Noch an einer anderen Eigenschaft können wir die Eigentümlichkeit der Erscheinung erkennen. Jedes Teilchen der Drähte nimmt eine elektrische Spannung an, welche aber eine Wechselspannung ist und ähnlich wie der Strom an jeder Stelle millionenmal in einer Sekunde zwischen einem positiven und negativen Größtwert schwankt. Diese Wechselspannungen befolgen nun das entgegengesetzte Verhalten wie die Ströme: sie erreichen ihre höchsten Schwankungen an den freien

Digitized by Google

Enden, *DD'* und *EE'*, Fig. 105, und zeigen in der Nähe der Funkenstrecke nur geringe Werte.

Der experimentelle Nachweis dieser Erscheinungen ist nicht so einfach wie bei den Strömen. Könnten wir diesen Saal völlig verdunkeln, so würden wir allerdings wahrnehmen, daß die Enden der Drähte leuchten. Das rührt nicht von einem Stromdurchgang wie bei den Glühlampen, sondern von elektrischen Ausstrahlungen her, die lediglich von den Spannungen abhängen. Der sichere Nachweis läßt sich durch die photographische Trockenplatte führen. Es ist schon längere Zeit bekannt, daß mit elektrischer Spannung versehene Körper bei Berührung auf die Trockenplatte einwirken. Beim Entwickeln derselben erhält man strahlenartige Figuren mit feinen und scharfen Verästelungen. Vor einigen Jahren erregte ein Russe namens Jodko die allgemeine Aufmerksamkeit durch Veröffentlichung von strahlenartigen Photographien, die er erhalten hatte durch Auflegung von menschlichen Händen auf die geschützte Trockenplatte. Man konnte die Form der Hände deutlich erkennen und sah besonders von den Fingerspitzen merkwürdige fiederartige Gebilde ausgehen. Die Spiritisten vermuteten darin sofort übernatürliche Kräfte, wurden aber bald durch den geistvollen und witzigen Dr. Jacobsen ad absurdum geführt. Dieser zeigte Handbilder mit den merkwürdigsten Strahlungserscheinungen und verriet das Geheimnis ihrer Herstellung erst, nachdem die Begeisterung ihren Gipfelpunkt erreicht hatte: er hatte warme Jauersche Würste kunstvoll zu einer Hand vereinigt und auf die Platte gelegt. Die Jodko'schen Figuren waren also lediglich eine Folge der menschlichen Wärme. Die Einwirkung elektrisierter Körper auf die Trockenplatte bleibt indessen unbestreitbar. Die kurze Bestrahlung eines lichtempfindlichen Bandes, das ich mit dem Draht in seiner ganzen Länge zur Berührung

Digitized by Google

brachte, zeigte deutlich eine Zunahme der elektrischen Spannung nach dem freien Ende hin, und weitere eingehende Versuche ergaben sogar ein einwandsfreies Sinusgesetz für diese Zunahme, Fig. 106.

Nach dem, was ich vorhin über die Fernwirkung durch Induktion pulsierender Ströme ausgeführt habe, kann es nun

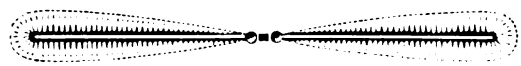


Fig. 106

nicht wundernehmen, daß die hohe Frequenz der pulsierenden Funkenströme in offenen Leitern besonders kräftige Fernwirkungen liefert. Und in der Tat läßt sich der Nachweis mit Leichtigkeit führen. Ich habe hier parallel zu den von dem Funkenstrom gespeisten Drähten einen zweiten völlig isolierten Draht durch die ganze Länge des Saales gezogen. Sobald wir die Funkenstrecke des Primärdrahtes in Tätigkeit setzen, wird der Sekundärdraht von ganz ähnlich verlaufenden Induktionsströmen durchzuckt. Sie sind zwar so schwach, daß ich sie mit den rohen und einfachen Hilfsmitteln, die mir hier zur Verfügung stehen, nicht dem ganzen Auditorium zeigen kann. Wohl aber kann ich die ebenso erzeugten entsprechenden Wechselspannungen an diesem Draht zur Wahrnehmung bringen. Ich wähle dazu die bekannten luftentleerten Geißler'schen Röhren; setze ich sie einer Wechselspannung aus, so leuchten sie auf. Hier am Ende des Drahtes geben sie ihr volles Licht, in der Mitte desselben leuchten sie nicht. Der Verlauf der Spannungen an diesem Sekundärdraht ist nun, wie Untersuchungen gezeigt haben, genau dem Schwingungszustand des Primärdrahtes entsprechend. Sogar das Gesetz der Sinuslinie wird diesen Spannungen aufgeprägt. Ebenso läßt sich zeigen, daß die elektrische Strömung in der

Digitized by Google

Mitte des Drahtes ihren Größtwert erreicht und nach den Enden hin abnimmt; vergl. Fig. 107b.

Besonders merkwürdig ist aber das Folgende: Schneide ich den Sekundärdraht in der Mitte durch, so bildet sich in jeder Hälfte des Drahtes eine eigene Schwingung aus, die durch die Länge des Drahtes bestimmt ist, Fig. 107c. Wem fällt hier nicht der Vergleich mit einer Klaviersaite ein, die in einem tiefen Grundton schwingt und zwei halb so lange Saiten durch Resonanz zum Mitschwingen in dem eine Oktave höher liegenden Oberton veranlaßt? In der Tat, die Analogie mit dem Tönen schwingender Saiten ist eine völlige und wird uns bei den weiteren Betrachtungen wertvolle Fingerzeige für das elektrische Mittönen von Drähten bieten können.

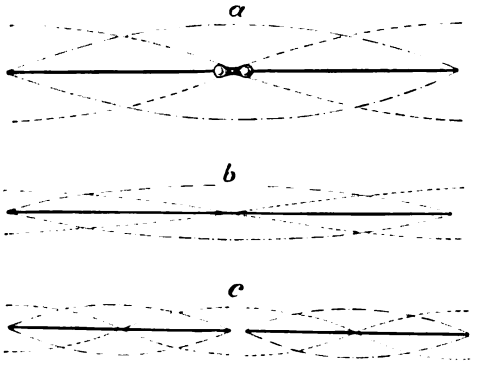


Fig. 107.

Die einander zugekehrten Enden der halblangen Drähte nehmen Spannungen an, deren Polaritäten entgegengesetzt sind. Nähern wir die Enden, so nehmen wir deshalb ein Funkensprühen wahr. Es ist, als ob die Stromwelle, die in den Drähten induziert ist, hier an der Unterbrechungsstelle zwischen den Drähten hinüberspritzt, ähnlich wie die Wasserwelle über ein Hindernis in Millionen von glitzernden Tropfen. Sie können von Ihren Plätzen aus diese Funken nicht sehen; ich will aber eine Wirkung damit hervorrufen, die allen sichtbar wird. Ich schalte zwischen die freien Enden der Drähte

Digitized by Google

die Kohlenstäbe einer Bogenlampe, welche an die hier vorhandene elektrische Leitung angeschlossen ist. So lange die Stäbe sich nicht berühren, kann der Gleichstrom aus der Leitung von Kohle zu Kohle nicht übertreten. Lasse ich nun aber die primäre Funkenstrecke spielen, so spritzen an den Kohlen feine Funken über, bilden eine Brücke für den Gleichstrom, und die Lampe leuchtet auf.

Wie sollen wir nun die eigentümliche Wirkung erklären, deren Zeugen wir soeben gewesen sind? Es sind dieselben Kräfte, welche den Froschschenkel zum Zucken brachten; sie breiten sich aus durch den Raum, sie durchdringen unsere Körper, durchbrechen die dicken Steinwände dieses Hauses und pflanzen sich fort durch das grenzenlose Weltall. Man hat die Geschwindigkeit der Ausbreitung gemessen; sie stimmt überein mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/sk. Befände sich etwa auf dem Mars zu dieser Stunde ein Berufsgenosse, vertieft in das Studium der gleichen Erscheinung, und ständen, der vorgeschrittenen Kultur der Marsbewohner entsprechend, unendlich viel feinere Hilfsmittel zum Erkennen dieser Kräfte zu seiner Verfügung, genau nach 3 Minuten würde das Leuchten einer Röhre, das Licht einer Bogenlampe oder das Zucken einer höher organisierten frischen Tierleiche ihm Kunde geben von unserem Tun. Sie sehen, bis auf diese kleinen Voraussetzungen ist Tesla durchaus im Recht, wenn er mit dichterischer Phantasie von einer Mars-Telegraphie der Zukunft träumt.

Es ist aber eigentlich auch nicht viel mehr als dichterische Phantasie, wenn wir uns nach der üblichen Anschauung den Weltraum als ein unendliches Äthermeer vorstellen, dessen Wellenschlag die elektrischen Kräfte weiterleitet. Es ist bekannt, daß die Fortpflanzung des Lichtes in ähnlicher Weise erklärt wird, und daß man in dem Licht selbst eine elek-

Digitized by Google

trische Erscheinung vermutet, deren Wellenfrequenz noch millionenmal größer ist. Ich muß es mir versagen. auf diesen interessanten Zusammenhang hier näher einzugehen, möchte aber daran erinnern, wie schnell die Vorstellung des Lichtes als Wellenbewegung in unsere Denk- und Ausdrucksweise übergegangen ist. Wir reden von den „Fluten des Lichts", Goethe läßt Faust „die irdische Brust im Morgenrot baden" und schildert das All als „ein ewiges Meer, ein wechselndes Weben". Die Ätherstürme der Sonne tragen ihre Wellenschläge zu uns, sie brechen sich an der Netzhaut unseres Auges und verschaffen uns die Empfindung des Lichtes. Schallwellen überträgt der Äther nicht — zu unserem Glück, denn mit den Strahlen des Lichtes würde uns sonst auch der ungeheure Spektakel auf der Sonne zugetragen. Die „Sphärenmusik" ist nur eine dichterische Lizenz.

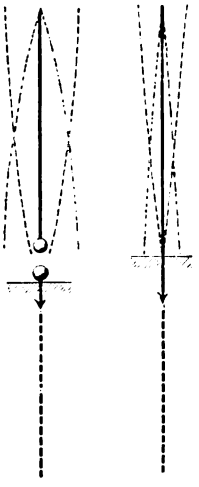


Fig. 108.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu unserem elektrisch schwingenden Draht zurück. Bisher haben wir mit den Kugeln oder sogenannten Polen der Funkenstrecke nach beiden Seiten hin Drähte verbunden. Eine neue wertvolle Eigenschaft derselben erkennen wir, wenn wir den einen Pol mit der Erde verbinden und den Draht vom andern Pol senkrecht in die Höhe führen, Fig. 108. Die Verteilung der elektrischen Spannung an diesem Draht verändert sich dadurch nicht, ebensowenig die Ströme. Es ist genau so, als nähme in der Erde ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes die auf- und niederzuckenden Ströme auf. Stellen wir ebenso die eine Hälfte des Sekundärdrahtes senkrecht und legen das

Digitized by Google

untere Ende an Erde, so vollzieht sich die Induktion in unveränderter Weise, auch hier können wir die Erde durch ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes ersetzt denken, Fig. 108. Die Tragweite der Wirkung, die Entfernung, auf welche wir die elektrischen Impulse senden können, nimmt dabei zu. Es scheint so, als ob in der Erde eine zweite Bahn für die Weiterleitung der elektrischen Stöße oder Schwingungen sich darböte; Tesla hat sogar eine Telegraphie, lediglich durch die Erde, darauf gegründet. Daß dies in gleicher Weise wie bei den Drähten auf Induktion durch Ströme zurückgeführt werden könne, muß bezweifelt werden. Ich möchte vielmehr vermuten, daß es sich um Spannungserschütterungen handelt. Zweifellos hat die Erde eine bestimmte elektrische Spannung, deren wahre Größe uns unbekannt ist; da sie sich als ein unendlich großer Behälter darstellt, so ist ihre mittlere Gesamtspannung sicherlich als eine nur wenig veränderliche Größe aufzufassen, etwa wie die mittlere Tiefe der Weltmeere. Man nimmt sie deshalb auch als willkürlichen Nullpunkt der Spannung an und zählt elektrische Spannungen, die größer sind, als positiv, solche die kleiner sind, als negativ.

Nun ist uns bekannt, daß lokale Erschütterungen der Erdspannung sich auf weite Entfernungen bemerkbar machen, wie der Sturm in der Mitte des Ozeans nach einiger Zeit seine Wellen bis an die Küste sendet. Die große Wechselstrom-Zentrale in Deptford bei London erhielt eines Tages Erdschluß, und die dadurch hervorgerufenen Störungen des Erdpotentials machten sich in Paris an den feinen Meßinstrumenten des Observatoriums, die mit der Erde in Verbindung standen, deutlich bemerkbar.

Die wesentliche Steigerung der Induktionserscheinung durch Erdverbindung soll uns wieder ein Experiment zeigen. Wir legen den einen Pol des Induktoriums an Erde und ver-

Digitized by Google

binden mit dem andern einen mit feinen Kupferdrähten besponnenen Bindfaden. Eine zweite Schnur aus gleichem Material spannen wir 1 m entfernt parallel dazu aus und legen das eine Ende derselben gleichfalls an Erde. Wenn wir nun den Saal verdunkeln, können Sie deutlich die mehrere Zentimeter langen Funken sehen, die ich aus dem Sekundärdraht ziehe. Jetzt werden Sie auch ein Leuchten beider Drähte bemerken. Hätte ich die Drähte nicht parallel, sondern senkrecht zu einander angeordnet, würden Sie ein solches Leuchten nicht wahrnehmen.

Die durch Erdverbindung eines Poles der Funkenstrecke am ausgespannten Draht des andern Poles hervorgerufene Erscheinung ist dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Wechselspannungen von der Funkenstrecke aus nach dem freien Ende des Drahtes hin stetig zunehmen, während die hin- und herzuckenden Wechselströme in der Nähe der Funkenstrecke ihre größten Werte erreichen und nach dem freien Ende des Drahtes hin abnehmen. Die Zunahme des Leuchtens nach dem freien Ende des Drahtes hin haben Sie bei dem Experiment nicht wahrnehmen können. Dies rührt daher, daß ich durch einen Kunstgriff, dessen Erörterung mich hier zu weit führen würde, die Drähte künstlich verlängert habe, um das Phänomen zu verstärken. Was Sie gesehen haben, waren tatsächlich nur die äußersten Enden wesentlich längerer Drähte. Die Stellen der größten Schwankung nennt man in der Theorie der schwingenden Saiten die Schwingungsbäuche, die Orte der Ruhe, an denen eine Schwingung nicht bemerkbar ist, dagegen Schwingungsknoten. Übertragen wir diese Bezeichnung auf den elektrisch schwingenden Draht, so müssen wir sagen: die elektrischen Wechselspannungen besitzen an der Spitze einen Bauch, an der Funkenstrecke einen Knotenpunkt, die Wechsel-

Digitized by Google

ströme dagegen haben an der Funkenstrecke den Bauch und an der Spitze den Knotenpunkt.

Dies führt uns dazu, ein ganz ähnliches mechanisches Beispiel zu betrachten. Ich habe hier ein federndes Stück Bandeisen von 1 m Länge mit einem Ende in einem Schraubstock festgespannt. Schlage ich an irgend einer Stelle mit dem Hammer dagegen, so versetze ich das Eisen in Schwingungen von gesetzmäßiger Frequenz, die ich aus den Abmessungen und der Elastizitätskonstanten des Eisens berechnen kann. Der Schwingungsfrequenz, die sich der Luft mitteilt, entspricht die Tonhöhe, die wir hören. Sie bleibt unverändert, an welcher Stelle ich das Eisen auch berühre. Wir erkennen also eine dem Eisen eigentümliche Schwingungsfrequenz, seine Eigenfrequenz, die, wie ein Versuch sofort ergibt, nur von der Länge des schwingenden Bandes abhängt. Die seitlichen Ausbiegungen, welche der Stab erfährt, seine Amplituden, sind am freien Ende am größten, an der Befestigungsstelle am geringsten. Umgekehrt sind aber die Biegungsspannungen, die Beanspruchungen des Eisens, an der Spitze am kleinsten, hier unten dagegen am größten. Wir erkennen also an der Spitze einen Bauch für die Bewegungsamplituden, am Schraubstock einen Bauch für die Biegungsspannungen, und umgekehrt ihre Knotenpunkte. Es bestehen also ganz analoge Verhältnisse wie bei dem elektrisch schwingenden Draht.

Nun gestattet uns aber das mechanische Beispiel, die Übertragung der Schwingung auf einen zweiten oder Sekundärdraht durch eine Wellenbewegung zu veranschaulichen. Ich spanne einen Winkel aus Bandeisen mit gleich langen Schenkeln am Winkelpunkt fest und erschüttere durch einen Schlag mit dem Hammer den einen dieser Schenkel. Sie sehen, daß auch der zweite Schenkel sofort in Schwingung versetzt wird;

Digitized by Google

die Schwingung hat sich von dem ersten Schenkel durch den Knotenpunkt auf den zweiten übertragen. Dies geschieht aber nur dann, wenn die Schenkel gleich lang sind, wenn also die Eigenfrequenz des zweiten Schenkels mit der durch den Knotenpunkt auf ihn übertragenen völlig übereinstimmt. Wiederhole ich das Experiment mit ungleichen Schenkeln, so bleibt die Bewegungsübertragung aus. Zum guten Gelingen des Experimentes ist aber erforderlich, daß der Knotenpunkt

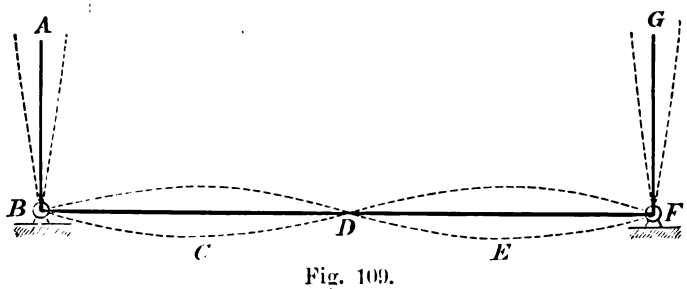


Fig. 109.

eine geringe Erschütterung erfährt; würde er völlig festgehalten sein, könnte die Bewegungsübertragung nur durch Molekularkräfte im Eisen erfolgen: die Erschütterung würde nicht sichtbar werden, vorhanden ist sie aber trotzdem.

Die weitere Betrachtung geschieht am besten anhand einer Skizze, Fig. 109. *ABFG* sei ein elastischer Stab von der sechsfachen Länge des freien Schenkels *AB*. Jede Erschütterung desselben pflanzt sich durch den Knotenpunkt *B* nach *C* fort und erzeugt dort einen Schwingungsbauch von gleicher Frequenz. Dieser überträgt sich durch den freien Knotenpunkt *D* nach *E* und von hier durch den Knotenpunkt *F* auf den Sekundärstab *FG*, welcher wie der Primärdraht *AB* wieder senkrecht angeordnet sein mag. Jede Erschütterung des Primärdrahtes bewirkt eine synchrone Schwingung des Sekundärdrahtes, die Übertragung der Bewegung erfolgt

Digitized by Google

durch den verbindenden Draht *BF*, der die Schwingungsbewegung einer stehenden Welle annimmt. Wählt man Bandeisen, so kann man die Bäuche *C* und *E*, sowie den Knotenpunkt *D* deutlich erkennen, wenn man diese Stellen mit trockenem Sand bestreut. Bei *C* und *E* gerät der Sand in lebhaftes Hüpfen, bei *D* bleibt er in Ruhe. Bekanntlich nennt man die Strecke, welche einen Wellenberg und ein Wellental umfaßt, die Länge der Welle, und wir erkennen das folgende einfache Gesetz: Die Bewegungsübertragung von *A* nach *G* erfolgt durch eine stehende Welle, deren Länge gleich dem Vierfachen der schwingenden Vertikaldrähte ist.

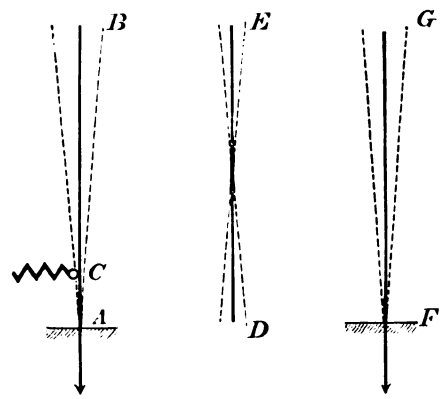


Fig. 110.

Dieses einfache Gesetz können wir nun sofort auf unsere elektrisch schwingenden Drähte übertragen, Fig. 110. Stoße ich einen geerdeten Draht *AB* elektrisch an, indem ich an beliebiger Stelle, etwa bei *C*, einen Funken auf ihn überschlagen lasse, so gerät er in elektrische Schwingungen, deren Frequenz lediglich von der Länge des Drahtes abhängt. An der Spitze des Drahtes bildet sich ein Bauch für die elektrischen Wechselspannungen aus, an der Erdungsstelle, bei *A*, ein Bauch für die Ströme. Befindet sich in einiger Entfernung davon ein zweiter paralleler Draht von gleicher Länge *DE*, so wird er durch Induktion gleichfalls in elektrische Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen haben aber die

Digitized by Google

doppelte Frequenz des Primärdrahtes, wenn der Draht an beiden Enden isoliert ist; in der Mitte entsteht ein Knotenpunkt für die Spannung, an beiden Enden ein Bauch. Der Draht schwingt gewissermaßen nur in einem Oberton. Um den starken Grundton, d. h. Sekundärschwingungen gleicher Frequenz zu erhalten, müssen wir dem Sekundärdraht entweder die doppelte Länge geben oder ihm am unteren Ende die Spannung null aufdrücken, indem wir ihn erden; vergl. *FG*, Fig. 110.

Im letzteren Falle können wir annehmen, daß die Übertragung sich in ganz entsprechender Weise vollzieht wie bei dem mechanisch schwingenden Eisenstab. Die Schwingungen teilen sich einem elastischen Mittel mit, dem Äther innerhalb und außerhalb der Erde, und tragen den elektrischen Impuls in der Form von stehenden Wellen bis an den Sekundärdraht. Die beste Wirkung ergibt sich hiernach, wenn beide Drähte auf gleiche Frequenz gestimmt, d. h. von gleicher Länge sind. Der Primärdraht entspricht einem Viertel dieser Wellenlänge. Sind die Längen der Drähte nicht in Übereinstimmung, so wird der Sekundärdraht zwar auch durch den ersten Anstoß in Eigenschwingung versetzt, aber mit wesentlich geringerer Intensität. Ist seine Länge dagegen ein ungerades Vielfaches des Primärdrahtes, so unterstützen die einzelnen Impulse die eingeleitete Eigenschwingung und verstärken sie.

Die Natur zeigt uns ähnliche Erscheinungen in großer Fülle. Es ist bekannt, daß die Schwingungen eines Schiffes für ganz bestimmte Umlaufzahlen der Maschine, die den Eigenschwingungen des Schiffskörpers entsprechen, am fühlbarsten sind. Verhängnisvoll für eine eiserne Brücke kann der Gleichschritt marschierender Soldaten werden. Das angenehme Fahren in den langen D-Wagen der Eisenbahn rührt

Digitized by Google

nicht zum wenigsten davon her, daß ihre Eigenschwingungen gegenüber der Frequenz der Schienenstöße verringert sind.

Wir kommen nun zu den Mitteln, welche angewendet werden müssen, um die elektrischen Induktionserscheinungen am Sekundärdraht zur Wahrnehmung zu bringen. Wir wollen diese Einrichtungen als Indikatoren bezeichnen. Es ist ohne weiteres klar, daß sich hierfür zwei Wege darbieten, je nachdem wir den Strom oder die Spannung dazu heranziehen. Beide müssen aber, zur Aufnahme der größten Wirkung, in die ihnen entsprechenden Schwingungsbäuche eingeschaltet werden. Diejenigen Einrichtungen, welche auf Wechselströme ansprechen, sind in dem unteren Teil des Fangedrahtes, dicht über der Erdungsstelle, anzubringen, denn dort ist der Schwingungsbauch für die Ströme. Spannungsindikatoren wären dagegen, wenn möglich, an der Spitze des Fangdrahtes anzuordnen. Daß beide Mittel außerordentlich empfindlich und präzis wirkend sein müssen, ist selbstverständlich.

Ich will zunächst mit wenigen Worten die Stromindikatoren behandeln. Das durch hohe Empfindlichkeit ausgezeichnete Telephon ist für sich allein nicht verwendbar; seine Spule würde, in den Fangedraht unmittelbar eingeschaltet, durch ihre hohe Selbstinduktion die herangeführten schnellen Schwingungen gleichsam abdrosseln und wirkungslos bleiben. Vorzüglich geeignet ist aber das Telephon in Verbindung mit einem Mikrophon, Fig. 111. Der Mikrophonkontakt *M* hat an sich nur einen geringen Widerstand und kann in die Erdleitung des Fangedrahtes eingeschaltet werden, ohne die elektrischen Schwingungen zu stören. Die ganz schwachen Wechselströme, welche durch den Kontakt hindurchgeführt werden, lagern sich über den Gleichstrom, den eine Batterie *B* ständig durch den Mikrophonkreis sendet, und versetzen ihn in geringe Schwingung, ähnlich wie die leise Berührung

Digitized by Google

einer Libelle oder die Flaumfeder eines Vogels die stille Fläche eines Weihers kräuselt. Werden diese Schwingungen durch eine Induktionsspule in bekannter Weise transformiert, so können wir sie mit dem Telephon wahrnehmen. Allerdings entspricht der Ton nicht den schnellen Schwingungen, welche die Funkenstrecke aussendet — denn unser Ohr vermag nur Schwingungen bis zu 40 000 in der Sekunde wahrzunehmen, hier aber handelt es sich um Millionen —, wohl aber den ersten Stößen des Wogenschwalles, den das Einsetzen des Funkens auslöst; mithin entspricht der gehörte Ton den Unterbrechungen der Primärrolle des Induktoriums.

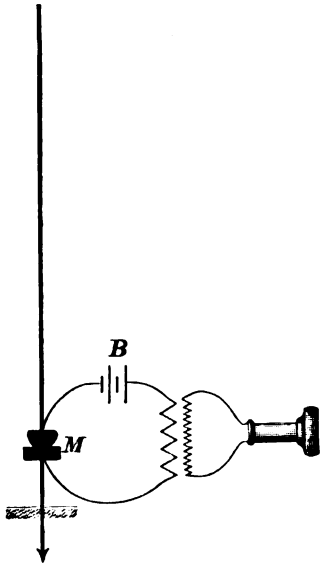


Fig 111.

Der Mikrophon-Empfänger ist das bei weitem empfindlichste Mittel, welches wir zur Aufnahme funkentelegraphischer Signale verwenden können. Zwischen der Zentrale Schiffbauerdamm in Berlin und dem Kabelwerk Oberspree, 15 km in der Luftlinie entfernt und getrennt durch Berlin in seiner größten Ausdehnung von Nordwest nach Südost, konnte eine vollkommen sichere Verständigung mit 12 m langem Auffangedraht erzielt werden, der noch dazu völlig im Schatten großer Gebäude lag.

Wunderbarerweise ist aber der Mikrophon-Empfänger nicht nur der allerempfindlichste, sondern auch der älteste, und zwar war es der geniale Erfinder des Mikrophons selber, Professor Hughes, der Ende der siebziger Jahre diese Eigen-

Digitized by Google

schaft entdeckte. Er erzählt, wie er mit seinem Mikrophon ausgerüstet die lange Straße in der er wohnte, hinunterschreitend deutlich das absetzende Funkenspiel des in seiner Wohnung befindlichen Induktoriums hören konnte. Eine eigene Fügung des Schicksals hielt ihn davon ab, die Entdeckung weiter zu verfolgen. Einige gelehrte Freunde, die er einlud, dem Experimente beizuwohnen, überzeugten sich zwar von der Richtigkeit desselben, fanden aber die Erklärung des Erfinders, der die Wirkung auf elektrische Ausstrahlungen der Funkenstrecke zurückführen wollte, so absurd, daß sie ihm ernstlich abrieten, einen Vortrag darüber in der Royal Society zu halten, weil sie fürchteten, sein wohlgegründeter wissenschaftlicher Ruf könnte dabei Schaden leiden. Die Zunftgelehrsamkeit erwies sich hierbei nicht zum ersten Mal als ärgster Feind der Wissenschaft.

Leider ist die Verwendung des Mikrophon-Empfängers auf einzelne Fälle beschränkt. Die schwachen Wellenströme, welche er aufnimmt, lassen sich zwar im Telephon hörbar machen, gestatten aber nicht die Benutzung eines Relais mit Schreibvorrichtung, um die Zeichen in Morse-Schrift festzulegen. Für viele Zwecke ist dies aber eine nicht zu umgehende Forderung.

Dieser Bedingung läßt sich nun aber in weitestgehendem Maße genügen, wenn wir zur Aufnahme der elektrischen Schwingungen Spannungsindikatoren benutzen. Einen solchen haben wir bereits vorhin beim Anzünden der Bogenlampe kennen gelernt. Im Spannungsbauch der schwingenden Drähte stellten wir durch Funkensprühen den Kurzschluß eines Gleichstromkreises her und lösten dadurch bereitstehende elektrische Kräfte aus, welche die Signalgebung in beliebig verstärkter Form gestatten. Hier bei der geringen Entfernung erhielten wir millimeterlange Funken und konnten

Digitized by Google

durch verhältnismäßig einfache und rohe Mittel die Wirkung verstärken und die Signale weithin sichtbar machen. Bei Entfernungen von 100 km und mehr sind die am Spannungsbauch der Drähte zu erhaltenden Funken millionenmal kleiner, es sind deshalb entsprechend feinere Mittel zu wählen.

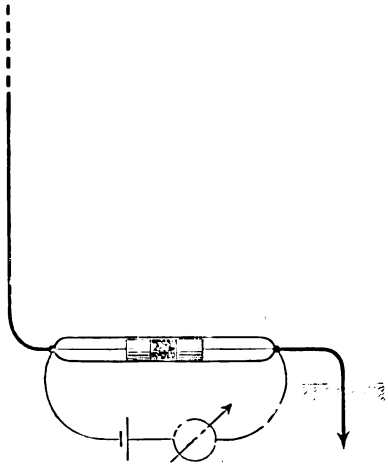


Fig. 112.

Die moderne Funkentelegraphie ist erst möglich geworden durch die Erfindung eines hochempfindlichen Spannungsindikators, nach seinem Erfinder die Branlysche Röhre oder Fritter genannt. Ich darf in dieser Versammlung die Wirkungsweise des Fritters im allgemeinen wohl als bekannt voraussetzen und kann mich kurz fassen. In einer evakuierten Glasröhre, Fig. 112, befinden sich zwei eingeschliffene Silberkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung einen fast unendlich großen Übergangswiderstand bildet. Mit den Silberkolben sind Platindrähte verbunden, die, in die Glaswand eingeschmolzen, einerseits dazu dienen, die elektrischen Schwingungen des Fangedrahtes an das Pulver heranzuführen, anderseits einen Stromkreis zu schließen, in dem sich außer einem kleinen Trockenelement noch ein Relais befindet. Wird die Röhre einer pulsierenden Wechselspannung ausgesetzt, so schließen die unendlich feinen Funken, die in dem Metallpulver auftreten, den Relaiskreis und geben durch den Schluß

Digitized by Google

einer stärkeren Lokalbatterie ein niederschreibbares Zeichen. Dabei bilden sich aus kondensierten Metallteilen lose Brücken. Die geringe Erschütterung eines gegen die Röhre schlagenden Klöppels bringt die Brücken zum Zerfall und stellt den unendlich großen Widerstand der Röhre wieder her. Durch kürzere oder längere Zeichengebung kann man somit Punkte und Striche des Morsealphabets erzeugen.

Wie mehrfach erwähnt, muß der Fritter, da er nur auf Spannungen anspricht, tunlichst in einem Spannungsbauche angeschlossen werden. Vergegenwärtigen wir uns nun die Verhältnisse am Fangedraht. Wollen wir den starken Grundton der Schwingung ausnutzen, müssen wir den Fangedraht unten erden; dann bildet sich aber der Spannungsbauch an der Spitze aus, die für uns unzugänglich ist. Es hat langer Überlegungen und eingehender Studien bedurft, ehe das überaus einfache Mittel gefunden wurde, den zündenden Funken des Spannungsbauches aus luftiger Höhe in erreichbare irdische Nähe zu bringen. Das Experiment mit den schwingenden Eisenbändern gibt uns jetzt einen deutlichen Fingerzeig. Schließen wir in der Nähe der Erdungsstelle an den Fangedraht einen gleichgestimmten Verlängerungsdraht, so pflanzen sich die Schwingungen durch den Knotenpunkt fort und bilden am Ende dieses Drahtes einen Spannungsbauch in ähnlicher Größe wie an der Spitze. Der Verlängerungsdraht braucht nicht geradlinig geführt zu werden; wir können ihn auch aufrollen zu einer elektrisch äquivalenten Spule Fig. 113.

Jedes richtige Mittel pflegt aber eine Reihe von günstigen Nebenwirkungen mit sich zu führen. So auch hier. Die Erdverbindung des Fangedrahtes schützt den Fritter vor unbefugten elektrischen Störenfrieden. Zu den unerträglichsten gehörten früher die elektrischen Entladungen der Atmosphäre.

Digitized by Google

Es ist bekannt, daß in den höheren Schichten der Luft andere elektrische Spannungen herrschen als in der Nähe der Erdoberfläche; zudem wechseln diese Spannungen besonders an schwülen Tagen. Es war früher keine Freude für den Funkentelegraphisten, wenn die geschwätzige Atmosphäre mit unaufhörlichem Geplapper seine Morsezeichen verwirrte. Dieser Störenfried ist jetzt endgültig beseitigt, und zwar so nachdrücklich, daß eine fehlerfreie Zeichengebung mitten im stärksten Gewitter möglich ist, wie dies mehrfache Versuche in Berlin gezeigt haben. Das herannahende Gewitter, dessen Donner wir soeben hören, gibt mir erwünschte Gelegenheit, die Störungsfreiheit an den hier aufgestellten Vorrichtungen zu zeigen.

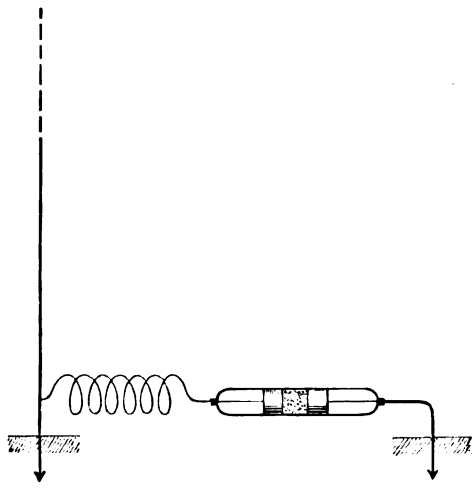


Fig. 113.

Die besprochene Schaltung sichert aber auch gegen das Eindringen nicht abgestimmter Zeichen eines fremden Funkengebers; allerdings darf er nicht allzu nah aufgestellt und allzu wirksam sein. Dann tritt der Fall ein, daß der Empfänger durch den ersten Stoß des Funkens in geringe Eigenschwingungen versetzt wird. Bei größeren Entfernungen reichen diese einmaligen Stöße nicht aus, sondern das Ansprechen erfolgt erst, wenn die zahlreichen Pulsationen des einzelnen Funkens in ihrem Zeitmaß mit den Perioden der Eigenschwingung zusammentreffen und dadurch die Wirkung

Digitized by Google

allmählich verstärken. Was ich allmählich nenne, vollzieht sich allerdings in Bruchteilen von zehntausendstel Sekunden.

Die Sicherheit der Zeichengebung ist durch Anwendung dieser Schaltungen nicht nur wesentlich erhöht, sondern die Übertragungsweite auch beträchtlich vergrößert worden. Von hoher praktischer Bedeutung ist der Umstand, daß vorhandene Erdleiter, wie Blitzableiter und eiserne Schiffsmaste, ohne weiteres zum Geben und Empfangen der Funkentelegramme benutzt werden können. Die Abstimmung korrespondierender Apparate sowie das gleichzeitige Empfangen verschiedener Telegramme mit einem Fangedraht ist, wie ich bei einer früheren Gelegenheit durch Versuche beweisen konnte, als eine nunmehr gelöste Aufgabe zu betrachten.

Die Mitttel zur Vervollkommnung der Funkentelegraphie sind aber damit nicht erschöpft. Legen wir uns zunächst die Frage vor, wie ein Empfangsapparat bei gleicher Sicherheit der Wirkung empfindlicher gestaltet werden kann, so werden wir in erster Linie an den wesentlichsten Teil des Apparates, den Fritter, denken. Jahrelange Bemühungen haben mir gezeigt, daß alle Bestrebungen, den Fritter empfindlicher zu machen, aussichtslos sind. Es ist dies zwar durchaus möglich durch Benutzung feineren Pulvers bei vermehrter Beimischung von Silber — doch nur auf Kosten der Präzision der Auslösung. Wenn aber ein Fritter durch den leisen Schlag des Klopfers nicht sofort seinen unendlich großen Widerstand annimmt, ist er für praktische Verwendung unbrauchbar. Die Sicherheit des Betriebes der Funkentelegraphie ist zur Zeit noch von erheblich größerer Bedeutung als die Übertragungsweite, denn sie hat zunächst den Nachweis der völligen Zuverlässigkeit zu erbringen. Man wird deshalb gut tun, sich vorläufig mit einer geringeren Empfindlichkeit des Fritters zu begnügen.

Digitized by Google

Ein anderer Gesichtspunkt ist aussichtsvoller. Die Funkentelegraphie ist eine Energieübertragung, und nur ein bestimmtes Maß von Energie gelangt am Fangedraht zur Aufnahme. Die Energie setzt sich aus Strom und Spannung zusammen; da nun der Fritter ausschließlich auf Spannung anspricht, so wird man darauf Bedacht nehmen müssen, die Spannung des verfügbaren Energiebetrages auf Kosten des Stromes tunlichst zu erhöhen. Marconi hat in neuerer Zeit nach dem Vorgange von Lodge mit Erfolg das Prinzip des Transformators für diesen Zweck in Anwendung gebracht. Ein anderes Mittel ist aber noch wesentlich wirkungsvoller. Ein akustisches Analogon soll uns dieses erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche ich mit einem Hammer berühre und dadurch in Schwingungen versetze. Der Ton ist nur leise — setze ich die Stimmgabel aber auf einen geeigneten Resonanzboden, so schwillt er sofort an zu beträchtlicher Stärke. Eine ähnliche Resonanzwirkung können wir auch bei elektrischen Schwingungen erzielen. Jedem Elektrotechniker ist der sogen. Ferranti-Effekt bekannt. Wenn man die Klemmen einer Wechselstrommaschine mit den beiden Leitern eines offenen Kabels verbindet, kann man die elektrischen Verhältnisse so wählen, daß die Spannung an den Enden des Kabels zu beträchtlicher Größe anschwillt, welche die Spannung der Maschine um ein Vielfaches überschreitet. Es ist dazu nur erforderlich, die elektrischen Dimensionen des Kabels, d. i. Widerstand, Kapazität und Selbstinduktion so zu wählen, daß seine Eigenfrequenz mit der von der Maschine erzeugten Frequenz nahezu übereinstimmt. Das Kabel muß also auf die Frequenz des eingeleiteten Wechselstromes abgestimmt sein.

Verbinden wir nun mit einem von schnell pulsierenden Strömen durchzuckten Drahte eine auf die Frequenz der

Digitized by Google

Schwingungen abgestimmte Spule mit großer Selbstinduktion bei geringer Kapazität, so erhalten wir an dem freien Ende der Spule eine wesentlich größere Spannung. Die übertragene Energie wird gewissermaßen auf einen stärker schwingenden Resonanzboden übersetzt; die eingeleitete Spannung wird auf Kosten des Stromes gleichsam multipliziert; ich habe darum für diese Einrichtung den Namen Multiplikator vorgeschlagen. Mit einem Transformator hat er nichts gemein, denn bei diesem, wie auch bei dem bekannten Autotransformator oder dem sogen. Spartransformator, haben wir stets mit zwei für sich bestehenden Schwingungskreisen zu tun. Bei dem Multiplikator dagegen wird in eine einzelne Spule niedrig gespannte Energie eingeleitet und am Ende als hochgespannte Energie abgeleitet. Die folgenden Versuche werden Ihnen die merkwürdige Wirkung, die man damit erzielen kann, schneller begreiflich machen, als meine Worte es vermöchten.

(Eine Reihe von abgestimmten Multiplikationsspulen, die alle zugleich an einen Schwingungskreis angeschlossen sind, kommen bei Einstellung verschiedener Frequenzen mit Hülfe einer veränderlichen Selbstinduktion nach einander zur Wirkung und zeigen weithin leuchtende elektrische Strahlungserscheinungen.)

Die vorgetragenen wissenschaftlichen Grundgesetze der Funkentelegraphie, welche aus längeren Untersuchungen hervorgegangen und seit einem halben Jahre Gemeingut geworden sind, wurden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft unter Leitung des Grafen von Arco zur Ausbildung zahlreicher erfolgreicher Schaltungen für die Funkentelegraphie benutzt, die alle zu beschreiben hier zu weit führen würde, deren neueste Form aber die hier im Saal befindlichen Vorrichtungen darstellen. Ihre Wirkungsweise ist nach dem Gesagten sofort verständlich.

Digitized by Google

Der Sender, Fig. 114, besteht aus einem an der Fahnenstange des Gebäudes befestigten Draht, der bis hinunter zur Erde geführt und dort mit der Wasserleitung verbunden ist. Eine Schlinge dieses Drahtes ist durch das Fenster hier in den Saal geleitet und wird bei *F* durch ein Induktorium mit Funkenstrom gespeist. Um dies zu ermöglichen, ist der andere Pol der Funkenstrecke durch einen abgestimmten Kondensator *C* an Erde gelegt. Ähnlich wie das angeschlagene Eisenband des früheren Versuches wird der Draht hier durch elektrische Funken angestoßen und gerät in Schwingungen, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Wollen wir mit einer größeren Wellenlänge telegraphieren, so haben wir nur nötig, in die Erdleitung eine Zusatzspule *Z* zu schalten, die ich durch Punktierung angedeutet habe. Sie entspricht einer bestimmten äquivalenten Drahtlänge, um welche wir somit die Viertelwellenlänge vergrößern. Ein ganzer Satz von solchen Ergänzungsspulen steht für diese Verwendung bereit. In jedem Fall ist aber die Schwingung in dem durch die Erdverbindungen geschlossenen Kreise auf die Schwingung des Drahtes abzustimmen, um die größte Wirkung zu erhalten. Dies geschieht in einfachster Weise durch Verstellen einer regulierbaren Selbstinduktion *S* oder des Kondensators *C*,

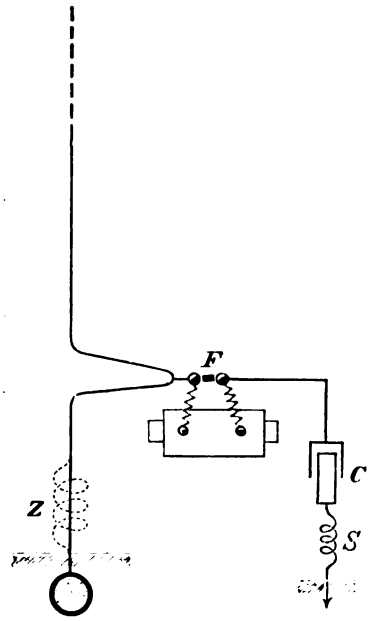


Fig. 114.

Digitized by Google

die zu diesem Zweck mit bestimmten Marken gezeichnet sind.

Als Empfänger, Fig. 115, dient der gleiche Draht, an welchen ebenfalls vermittelst der Schlinge ein Verlängerungsdraht in Form einer äquivalenten Spule *V* befestigt ist. Der Spannungsbauch am Ende derselben wird verstärkt durch eine abgestimmte Multiplikationsspule *M* und diese unmittelbar mit dem Fritter verbunden. Es ist auch möglich, die Wirkung beider Spulen durch eine einzige von entsprechender Wicklung zu ersetzen. Die Erdleitung des Fritters enthält das Trockenelement und das Relais, welche, um die Schwingungen nicht zu stören, durch einen Kondensator überbrückt sind. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft garantiert bei diesen Einrichtungen Abstimmung auf bestimmte Wellenlängen innerhalb der gebotenen Grenzen und sichere Verständigung auf 100 km über See bei 50 m Masthöhe. In letzter Zeit ist es der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gelungen, die Leistungsfähigkeit ihrer Apparate noch wesentlich zu steigern. Zwischen der von der Hamburg-Amerika-Linie in

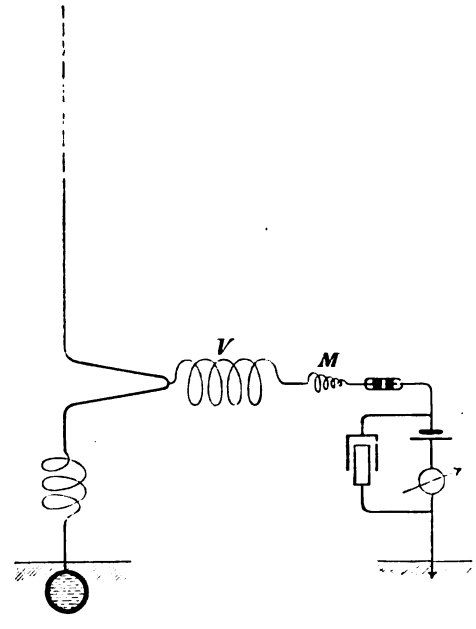


Fig. 115.

Digitized by Google

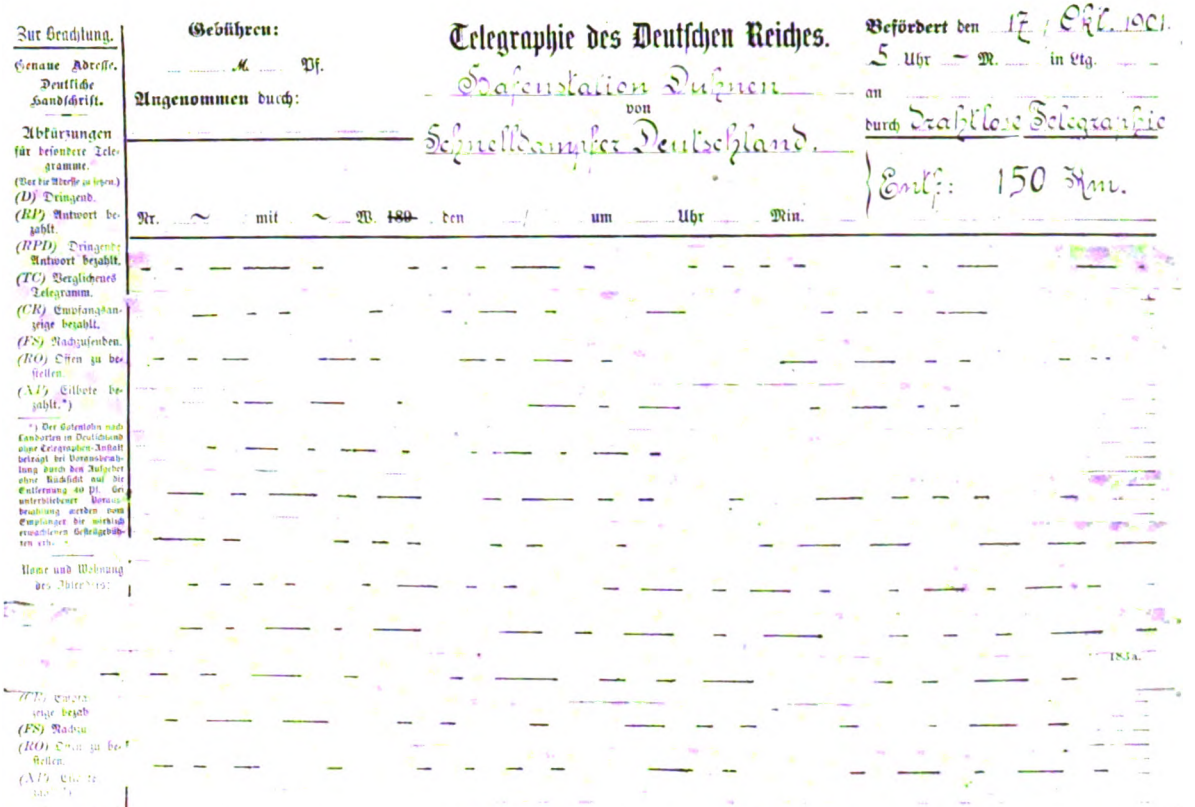


Fig. 116.

Digitized by Google

Duhnen bei Kuxhaven errichteten Landstation und dem Schnelldampfer „Deutschland“ wurden Telegramme bei 150 km Entfernung gewechselt trotz der mäßigen Masthöhe von 32 m an Bord der „Deutschland“.

Fig. 116 zeigt ein solches Telegramm in Autotypie. Man ersieht aus der Klarheit der einzelnen Zeichen, daß die äußerste Grenze der Signalentfernung noch lange nicht erreicht war.

Der Text lautet:

„Zweimal Anruf. Hundert v(!)unfzig Kilometer. Zweimal Schlußzeichen.“

„Anfangszeichen. Leben Sie wohl. Zweimal Schlußzeichen.“

„Zweimal Anfangszeichen und Anruf. Auf Wiedersehn. Schlußzeichen.“

Die Funkentelegraphie hat, wie Sie hieraus ersehen, das Stadium der tastenden Versuche verlassen, sie ist jetzt einer zielbewußten Ingenieurtätigkeit erschlossen, und die regsamen Kräfte der Industrie werden schon das ihrige tun, das Anwendungsgebiet in schnellem Tempo zu erweitern. Zunächst wird dort, wo Leben und Gut der Menschen noch am meisten gefährdet ist, an der Küste und auf offener See, die Funkentelegraphie bald ein unentbehrliches Verkehrsmittel sein, und ich schätze die Zeit nicht fern, wo jedes größere Schiff mit dem so einfachen und nützlichen Apparate ausgerüstet sein wird.

Aber auch als überseeisches Verkehrsmittel wird der Funkentelegraph in Zukunft in vielen Fällen das Kabel entbehrlich machen, wenngleich wir in dieser Beziehung die Erwartungen nicht allzuhoch spannen dürfen.

Digitized by Google

Auch der Weg, der für weiteren Fortschritt sich öffnet, liegt klar zu Tage. Die zum Beginn meines Vortrages erörterten Gesetze zeigten uns, daß die Übertragungsweite im wesentlichen von 3 Umständen abhängt: von der Länge der parallelen Drähte, der Frequenz der Pulsationen und dem Mittelwert der benutzten Ströme. Die ersten beiden sind kaum noch einer Steigerung fähig; auch bedingt die Verlängerung der Drähte größere Wellenlängen und damit verringerte Frequenzen, es sei denn, ein völlig neues Mittel werde gefunden, welches die Wellenlänge unabhängig von der benutzten Drahtlänge zu machen gestattet. Es bleibt also nur eine Verstärkung der induzierenden Ströme. Dies hängt von zwei Größen ab: von der Kapazität oder Aufnahmefähigkeit der Drähte und von der wirksamen Funkenspannung. Je höher wir die Drähte führen, desto geringer wird die Kapazität der von der Erdoberfläche entfernten Teile; je umfangreicher wir sie gestalten, desto schwieriger ihre Befestigung in Sturm und Wetter. Auch hier ist also dafür gesorgt, daß die Bäume nicht bis in den Himmel wachsen.

Aber angesichts der wunderbaren Erscheinungen, welche uns die Natur in dem geheimnisvollen Spiel des elektrischen Funkens offenbart, wird man unwillkürlich zum Dichter, ja selbst ein so ernster Gelehrter wie Prof. Ayrton kann es sich nicht versagen, ein Zukunftsbild wachend zu träumen: „Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Museum ruhen, dann wird das Menschenkind, das mit dem Freunde zu sprechen wünscht, und nicht weiß, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, welche allein jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Er wird rufen: Wo bist du? und die Antwort wird klingen in sein Ohr: Ich bin in der Tiefe des Bergwerkes,

Digitized by Google

auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean. Oder vielleicht wird keine Stimme antworten und er weiß dann, sein Freund ist tot.“ Ewig aber und jugendfrisch — so wollen wir hinzufügen — lebt die Wissenschaft und schöpft Jahrhundert um Jahrhundert neue wertvolle Schätze aus dem unversieglichen Born der Natur.

Digitized by Google

9.

Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen.

(1906.)

Seit den ersten Versuchen Marconi's, im Jahre 1897, hat sich die Funkentelegraphie zu einer technischen Wissenschaft entwickelt, und vieles, was damals fast wunderbar schien, sitzt heute fest in unserem Ideenkreise. Vielen meiner Zuhörer ist das Thema zwar etwas fernliegend, doch fürchte ich nicht, schwer verstanden zu werden, wenn wir uns gemeinsam auf den Boden des Ingenieurs stellen, der lediglich die Erscheinungen beobachtet, ihre Gesetze ermittelt und aus deren Kenntnis die Mittel ableitet, um die Kräfte der Natur in bestimmte Bahnen zu lenken. Dies nennt man „Erfinden". Wie mancher kluge Diener seinen Herrn, suchen auch wir die Meisterin Natur dienend zu beherrschen. Die Nützlichkeitstheorie ist die einzige, von welcher der Ingenieur sich leiten lassen darf, will er nicht auf Abwege geraten. Das Fragen nach dem Warum und Wie überlassen wir andern Forschern, von welchen wir uns aber reinlich scheiden wollen unter Beherzigung von Goethes Warnung: Das ist eine von den alten Sünden: sie meinen Rechnen das sei Erfinden.

Unsere Kenntnis der elektrischen Phänomene verdanken wir wenigen bahnbrechenden Naturbeobachtern. Der Name

Digitized by Google

des ersten verschwimmt im Nebel der Vorzeit, er erkannte zuerst die anziehende Kraft des geriebenen Bernsteins. Sie zeigt uns die Spannkraft der Elektrizität. Ihre mächtigste Äußerung erblicken wir in der Natur im Gewitterblitz, dem „gesammelten Feuer“ der Alten. Diese Bezeichnung ist nicht unzutreffend, denn tatsächlich handelt es sich dabei um Ansammlung dessen, was wir Elektrizität nennen. Die Flasche des Domherrn von Kleist, die man ganz zu Unrecht Leydenerflasche benannt hat, zeigt uns dieselbe Erscheinung. Auf zwei Metallbelegungen, durch Glas getrennt, können wir die Elektrizität genau so ansammeln, wie sie auf Gewitterwolken sich staut, bis die Auslösung der elektrischen Überspannung durch Blitzentladung erfolgt, sowie der angesammelte Zorn eines Menschen sich durch heftige Entladung Luft macht und eine schwüle Atmosphäre beseitigt. Hier wie dort herrscht ein deutlicher Dualismus, die eine Seite ist in gereizter Überspannung, die andere, gegen die sich der Zorn entlädt, in deprimierter Unterspannung. Die ersten technischen Mittel zur Hervorrufung starker elektrischer Spannungsunterschiede verdanken wir dem erfinderischen Bürgermeister von Magdeburg Otto von Guericke.

Näher gerückt ist uns das Wirken des zweiten Bahnbrechers Volta, der am Ende des 18. Jahrhunderts auf Grund einer Beobachtung Galvanis am Froschschenkel die künstliche Hervorrufung einer neuen, bis dahin unbekannten, elektrischen Erscheinung erfand, den elektrischen Strom. Die Erzeugungsmittel waren chemischer Art, seine Erfindung wirkte darum fördernd zurück auch auf die Kenntnis der chemischen Kräfte der Natur, und die Wende des Jahrhunderts wurde die Geburtsstunde eines Zwillingspaares, gleich bedeutsam für die Neuzeit, der Chemie und der Elektrotechnik.

Digitized by Google

Der Strom ist der Ausgleich elektrischer Spannungsdifferenzen auf einem vorgeschriebenen, zumeist metallischen Wege. Die neue elektrische Erscheinung, welche dabei in und am verbindenden Draht auftritt, führt man zurück auf ein fliessendes Etwas, dessen Natur die Forschung bisher

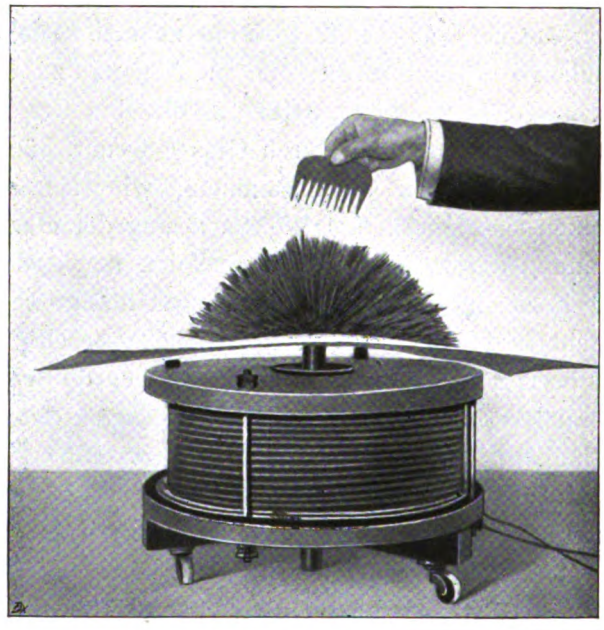


Fig. 117.

vergeblich zu ergründen versuchte. Die Natur-Philosophie der Alten ließ völlig im Stich, denn sie kannten die Erscheinung überhaupt nicht. Die Philosophie des 19. Jahrhunderts half sich nicht allzu geistreich, denn einer ihrer ersten Vertreter definierte den elektrischen Strom als zerbrochenen Magnetismus. Das hat uns wenig genutzt, und das elektrische Zeitalter wäre schwerlich gekommen, wenn die Technik sich nur bemüht hätte, bessere Erklä-

Digitized by Google

rungen zu versuchen, anstatt die Kenntnis der Erscheinungen zu fördern und Mittel zu erfinden, um sie nützlich zu verwerten.

Die schnell erkannten Wirkungen des elektrischen Stromes beziehen sich, außer auf die schon genannten chemischen Kräfte, auf Wärme und Licht. Jeder vom Strom durchflossene Draht erwärmt sich und sendet bei gesteigerter Zufuhr Lichtstrahlen aus, wie dieser lange eiserne Draht, der wie eine glühende Schlange sich durch den Saal zieht.

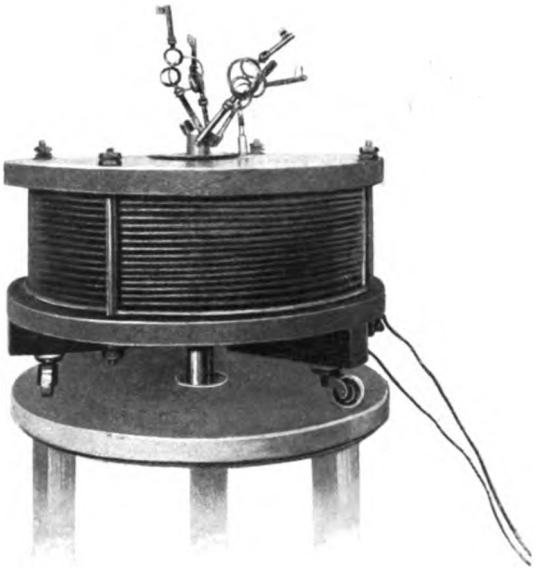


Fig. 118.

20 Jahre nach Volta beobachtete der Däne Oersted eine neue überraschende Wirkung des Stromes: er sieht zuerst die Ablenkung der Magnetnadel und erkennt damit das Auftreten magnetischer Kräfte außerhalb des vom Strom durchflossenen Drahtes. Wiederum eröffnet sich eine neue Welt für die Betätigung der Technik. Arago erfindet den Elektromagneten, indem er den Strom in zahlreichen Windungen um einen Eisenkern herumführt. Starke Kraftwirkungen gehen davon aus. Durch dicken Karton hindurch wirkt er auf die regellose Masse der Eisenfeilspähne, die ich wie eine zähe Flüssigkeit aus einer Flasche darüber schütte und ordnet ihre Struktur wie zu einem aufgebäumten

Digitized by Google

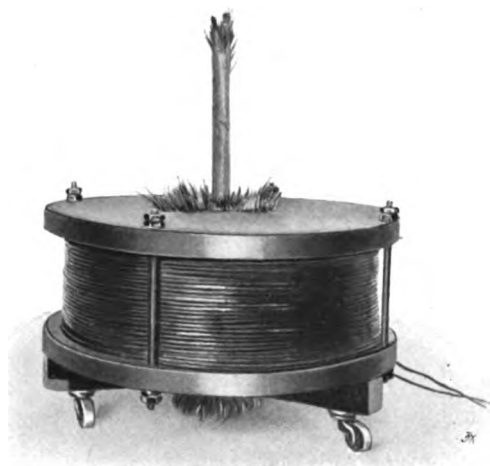


Fig. 119.

Pferdeschweif, den ich mit einem Roßkamm strählen kann (Fig. 117). Ein Schlüsselbund wird meiner Hand entrissen und fliegt hinüber (Fig. 118), um in bizarren Formen kleben zu bleiben. Die in ein dickes Glasrohr eingefüllten Spähne erstarren zum festen Stabe (Fig. 119), so daß ich das Glas abziehen kann. Bei Unterbrechung des Stromes fallen die Eisenfeilspähne wieder zum regellosen Chaos (Fig. 120) zusammen. Lebhaft wirkten diese Kraftäußerungen auf den Geist eines jungen amerikanischen Malers, der die magneterregende Wirkung mit Hilfe dünner Drähte in weite Fernen trägt und die nach ihm benannte Morse-Telegraphie erfindet.

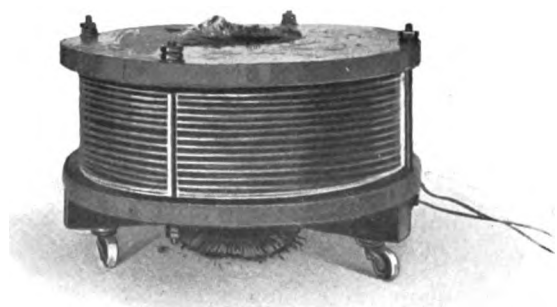


Fig. 120.

Digitized by Google

Gehen wir von einer Grundtatsache aus, indem wir einen geradlinigen vom Strom durchflossenen Leiter betrachten. Nach welchen Gesetzen ordnen sich die magnetischen Kräfte im umgebenden Luftraum? Eine Reihe von Magnetnadeln

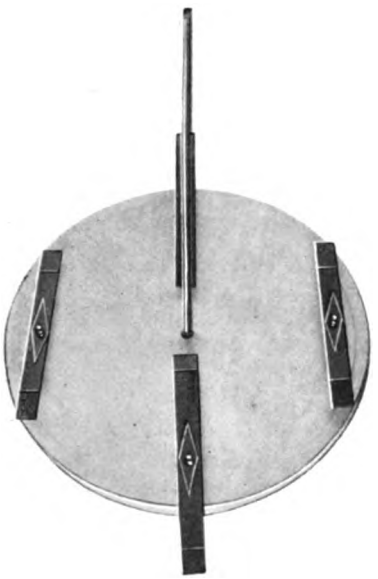


Fig. 121.

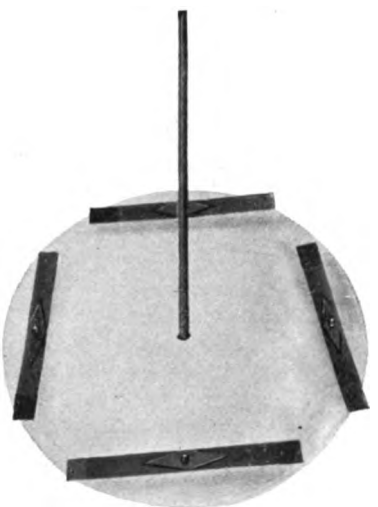


Fig. 122.

(Fig. 121) sind hier rings um den Draht gestellt. Sie orientieren sich in bekannter Weise nach dem magnetischen Nordpol der Erde. Schalte ich den Strom ein, so erfahren sie alle eine Ablenkung, sie gruppieren sich zu einer geschlossenen eisernen Linie (Fig. 122) rings um den Draht. Hieraus folgt, daß die magnetische Kraft den stromführenden Draht umkreist wie ein Wirbelwind, dessen Kraft mit der Entfernung vom Drahte abnimmt. Aber nicht nur eine richtende Kraft nehmen wir wahr, die auf schon vorhandene Magnete wie diese Nadeln, einwirkt, sondern auch eine magnet-

Digitized by Google

erzeugende Wirkung. Wären die Nadeln aus jungfräulichem Eisen, dessen Moleküle die Zwangswirkung magnetischer Kraft noch niemals verspürt, auch sie würden sich richten, und, wenn aus Stahl, den Magnetismus sogar dauernd behalten. Die Erscheinung wird noch deutlicher, wenn wir

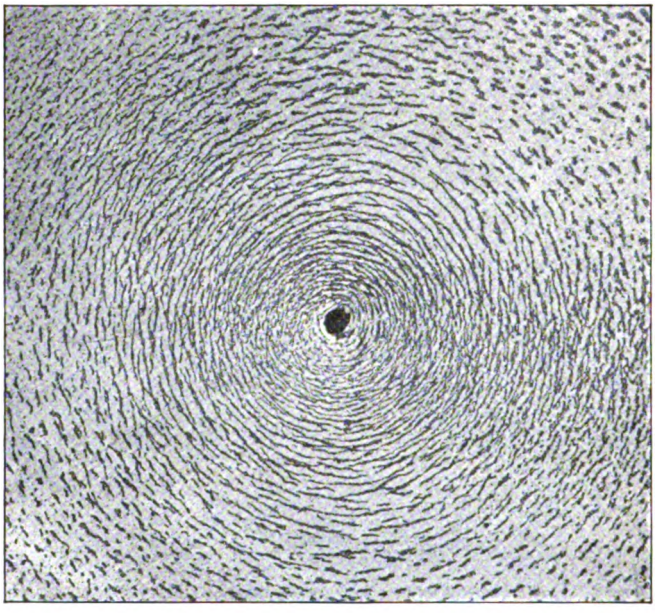


Fig. 123.

statt der Nadeln die winzigen Teile eines unmagnetischen Eisenpulvers verwenden und auf eine Glasplatte streuen, die der stromführende Draht senkrecht durchschneidet. Wir wollen das Bild vor der elektrischen Laterne erzeugen und in starker Vergrößerung (Fig. 123) auf die Tafel werfen. Sie sehen, wie bei vorsichtigem Klopfen die Eisenteile sich in Reih und Glied ordnen in konzentrischen Kreisen rund um den Draht. Alle machen gleichsam Front gegen den

Digitized by Google

kommandierenden Strom. Wir schließen hieraus, daß die magnetischen Kräfte immer senkrecht stehen zu den am Drahte wirkenden elektrischen Kräften. Die eisernen Glieder stehen still, wie mit präsentiertem Gewehr.

Welches Leben können wir aber in ihre Reihen bringen, wenn wir statt des gleichförmigen Volta-Stromes den pendelnden Wechselstrom Faraday's verwenden. Eines Grobschmieds Sohn war es, der den erstaunten Vertretern der Schulwissenschaft im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts die wunderbaren Wirkungen einer neuen Stromart zeigte und die Mittel zu ihrer Erzeugung erfand. Charakteristisch ist die Geschichte dieser Erfindung. Faraday erzählt, wie ihn jahrelang der Gedanke erfüllt habe, der Erfindung Arago's: die Erzeugung eines Magneten durch den elektrischen Strom, eine zweite an die Seite zu stellen: die Erzeugung des elektrischen Stromes durch einen Magneten, denn allen Naturerscheinungen wohne das Prinzip der Dualität inne. In seinen Mußestunden pflegte er einen Arago'schen Magneten, den er in der Westentasche stets bei sich trug, hervorzuholen und den kleinen Eisenkern mit seiner Drahtwicklung sinnend zu betrachten. Endlich kam die Stunde der Intuition, er erkannte, daß ein neues Moment dazu erforderlich war: die Bewegung. Überaus einfach lautet das von ihm erkannte Naturgesetz. Wenn man einen Draht über dem Magneten bewegt, so entsteht in dem Draht ein elektrischer Strom, das folgende Experiment wird uns die Tatsache zeigen und zugleich noch mehr: auch durch Umkehr der Bewegung entsteht ein Strom, jedoch von entgegengesetzter Wirkung, wir deuten sie als eine Umkehr seiner Richtung.

Ein dicker Kupferstab ist Teil einer Drahtschleife, die ein empfindliches Instrument enthält zum Nachweis auf-

Digitized by Google

tretender Ströme. (Fig. 124.) Eine Magnetnadel wird dadurch abgelenkt und zeigt die Bewegung und ihre Richtung durch einen Spiegel, der auf jene Wand einen Lichtfleck wirft. Fahre ich mit dem Kupferstab über dem Magnetpol

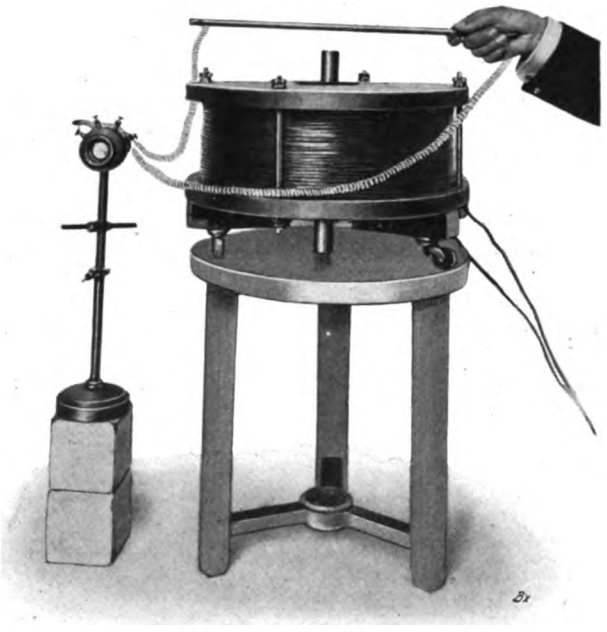


Fig. 124.

hin und her, so zeigt die pendelnde Bewegung des Lichtflecks das Hinundherwogen der elektrischen Kraft; es entsteht ein Strom von wechselnder Richtung, ein Wechselstrom, wie man ihn kurz benannt hat. Die Erfindung ist von weittragendster Bedeutung: sie lehrt uns die mechanische Erzeugung starker Ströme und begründet damit die Elektrotechnik, die Anwendung der durch Maschinen erzeugten Elektrizität.

Digitized by Google

Rotierende Drahtmassen, auf die sogenannten Anker der Dynamomaschinen gewickelt, nähern und entfernen sich von den Polen mächtiger Elektromagnete und erzeugen einen pendelnden Strom, den man in weitverzweigte Kabelnetze leiten und mannigfach verwerten kann. Es ist zu beachten, daß unsere Maschinen immer nur Faraday'sche Wechselströme erzeugen, die wir aber für manche Verwendung durch künstliche Einrichtungen in Volta'sche Gleichströme umwandeln.

Die heute zu erörternden Erscheinungen betreffen lediglich Wechselströme, die man zur Erleichterung gegenseitigen Verständnisses in bildlicher Form darzustellen pflegt. Denken wir (Fig. 125) uns an irgend einer Stelle des von Wechselstrom durchflossenen Drahtes AB bei 0 einen Apparat eingeschaltet, der die augenblickliche Stärke des Stromes anzeigt und zu messen gestattet. Die Stärke desselben wollen wir auf einer in 0 Senkrechten abgetragen denken, sie steigt dann von 0 über 1 nach 2, fällt wieder ab über 3 auf 0. Tragen wir der wechselnden Stromrichtung dadurch Rechnung, daß wir die folgenden Ströme nach unten auftragen, so wachsen dieselben von 0 über 4 nach 5 und fallen über 6 wiederum auf 0, um das Spiel von neuem zu beginnen. Wir nehmen ein Auf- und Abwogen der Stärke des Stromes wahr, das bei zeitlicher Auseinanderziehung die Form einer Welle annimmt. Die Zeit, welche einen Wellenberg und ein darauf folgendes Wellental umfaßt, nennt man die Periodenzeit, die Anzahl derselben in einer Sekunde die Frequenz des Wechselstromes. Die Starkstrom-Technik verwendet zumeist geringe Frequenzen, etwa 50 in der Sekunde.

Die Oersted'sche Entdeckung hat unsere Sinne geschärft: wir wissen, daß in der Umgebung des Drahtes magnetische Kräfte auftreten, welche mit dem Anschwellen des

Digitized by Google

Stromes zunehmen, mit dem Abklingen sich schwächen und bei jeder Umkehr des Stromes ihre Richtung gleichfalls wechseln. Dem Menschen fehlt ein magnetischer Sinn, trotz der gegenteiligen Behauptung der Magnetopathen, wir können deshalb das Auf- und Abwogen der magnetischen Kraft nicht direkt wahrnehmen, wir bedürfen dazu künstlicher magnetischer Augen. Ein solches wäre die Magnetnadel, schnellen

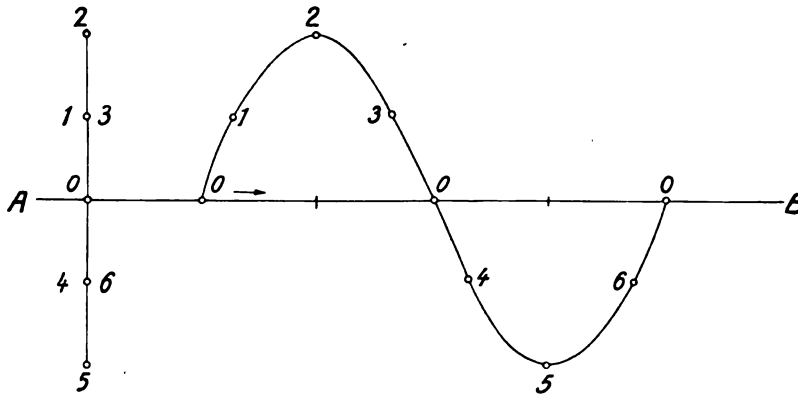


Fig. 125.

Schwingungen würde sie aber der Trägheit ihrer Masse wegen nicht folgen können. Ein anderes wirksames Mittel enthüllte sich dem Genius Faraday's, es folgt wieder aus dem Prinzip der Dualität. Das Hin- und Herpendeln des Stromes ruft magnetische Wallungen im Außenraum hervor. Das Hin- und Herwogen der magnetischen Kraft erzeugt wiederum in einem anderen unbeteiligten, gleichsam jungfräulichen Draht elektrische Schwingungen von gleicher Frequenz, man nennt dies eine Transformation. Die im Raume schwingenden Kräfte übertragen den Strom von Draht zu Draht ohne verbindende metallische Leitung.

Digitized by Google

Ein Experiment wird uns dies zeigen. Hier steht ein Aragoscher Elektromagnet, wir führen durch seine Spiralwindungen einen kräftigen Wechselstrom, erzeugt im Ma-

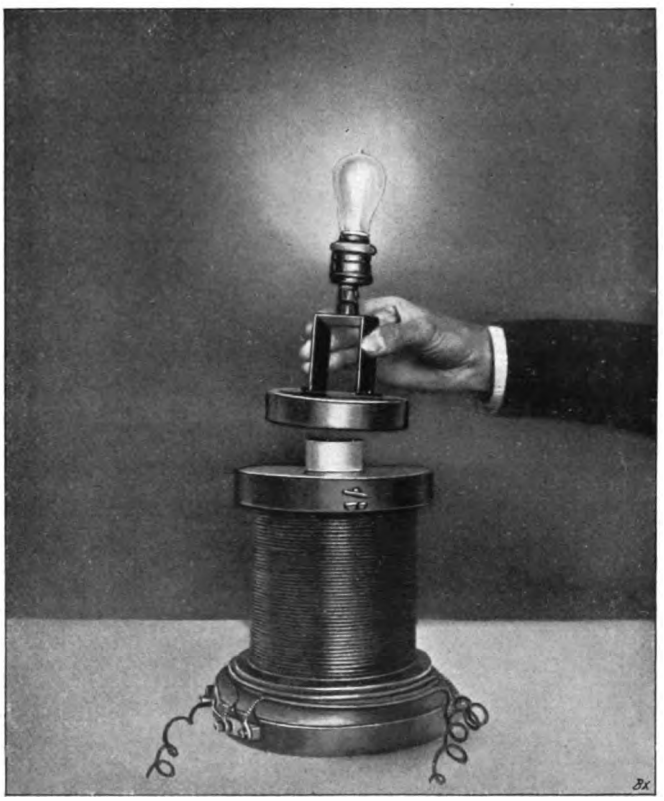


Fig. 126.

schinensaale. (Fig. 126.) Eine zweite Drahtspule halte ich in der Hand, nähere ich sie dem Elektromagneten, bringe ich sie in das schwingende magnetische Feld desselben, so wird sie gleichfalls von Wechselströmen durchzuckt. Um sie nachzuweisen habe ich mit den Windungen der Spule eine kleine Glüh-

Digitized by Google

lampe verbunden, ihr Aufleuchten zeigt uns das Auftreten des sogenannten sekundären Stromes.

Die überraschende Möglichkeit einer Kraftübertragung durch den Raum tritt uns hier zum ersten Male entgegen. In der Luftleere würde das Experiment genau so glücken, es ist also nicht das Luftmeer, welches die magnetischen Wellen schlägt, was ist es sonst? Die Natur breitet zur Zeit noch einen undurchdringlichen Schleier darüber, in scheuer Ehrfurcht zieht sich der Techniker zurück; die physikalische Forschung ist dreister, sie hat schon den Schleier berührt. Ob sie ihn aber jemals völlig heben wird? An den starken Wirkungen der geheimnisvollen Naturkraft erfreut sich jedoch das Auge des Ingenieurs. Er übersieht sofort die Möglichkeit einer nützlichen Verwertung. In den Transformatorenhäuschen, die Sie in Charlottenburg hie und da auf den Straßen finden, an den Blitzpfeilen kenntlich, sind zwei solcher Spulen untergebracht, sie sind übereinander oder nebeneinander angeordnet, jedoch ohne metallische Berührung. Durch die Primärspule flutet der Wechselstrom, den die Zentrale mit mächtigen Dampfmaschinen am Spreeufer erzeugt, auf die sekundäre Spule wird durch das schwingende Magnetfeld die für den Stadtbezirk erforderliche Elektrizität übertragen.

Eine Erweiterung erfuhren die Faraday'schen Gesetze durch Heinrich Hertz. Er zeigte uns, daß der magnetische Wellenschlag des durch elektrische Pulsationen erschütterten Raumes in desto weitere Entfernungen getragen wird, je schneller die Pulsationen erfolgen. Er fand zugleich die Mittel zu Erzeugung elektrischer Schwingungen, die millionenmal schneller auf- und niederzucken als diejenigen Faraday's. Durch mechanische Bewegung der Drähte ist diese Aufgabe nicht lösbar. Dies verbietet die Trägheit der Materie, ihre Reibung und die bei schneller Rotation auftretende Fliehkraft.

Digitized by Google

Betrachten wir seine Erfindung gleich in der Form, welche ihr Marconi bei seinen ersten epochemachenden Versuchen gegeben hat.

Ein Draht hängt senkrecht über einer leitenden Fläche, ohne sie zu berühren; durch vorübergehende Verbindung mit einer elektrischen Spannungsquelle wollen wir ihn geladen denken. (Fig. 127.) Ob wir dazu ein geriebenes Stück Bernstein, oder eine große, von Elementarkraft getriebene Maschine verwenden, bleibt sachlich gleich. Wir sprechen von einer Ladung des Drahtes und wollen damit ausdrücken, daß eine gewisse Quantität der elektrischen Eigenschaft gleichsam eingefüllt wird, wie Wasser in einen Schlauch oder Wurstdarm. Wie dieser für das Wasser, so hat auch der Draht nur eine bestimmte Aufnahmefähigkeit für die elektrische Eigenschaft. Da der Schlauch elastisch, ist diese vom Druck des Wassers abhängig; wollten wir darum den Fassungsraum beziffern, so gälte dies nur für einen bestimmten Druck. Auch die elektrische Aufnahmefähigkeit ist vom Druck oder der elektrischen Spannung abhängig. Für einen bestimmten Druck ist die Aufnahmefähigkeit immer die gleiche, man nennt sie die elektrische Kapazität. Denken wir uns den Wasserdruck in dem Schlauch über eine zulässige Grenze gesteigert, was tritt ein? Der Schlauch zerplatzt und zwar an seiner schwächsten Stelle, das Wasser spritzt aus. Auch der Draht kann die elektrische Spannung nur bis zu einer bestimmten Grenze ertragen, überschreiten wir diese, so spritzt auch die Elektrizität, d. h. die elektrische Eigenschaft gleichsam aus an der schwächsten Stelle;

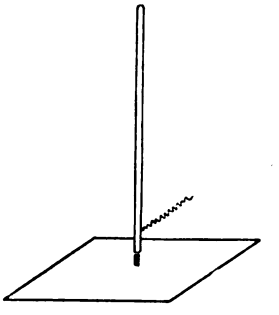


Fig. 127.

Digitized by Google

diese ist hier am unteren Ende, denn die darunterliegende leitende Fläche übt eine saugende Wirkung aus, sie hat der Spannung des Drahtes gegenüber stets eine Unterspannung. Ähnliches würde der Wasserschlauch zeigen, wenn das untere Ende von einer Kapsel umschlossen wäre, in welcher wir eine Luftverdünnung erzeugten. Das Ausspritzen der elektrischen Eigenschaft erfolgt unter gewaltigem Druck, die durchspritzte Luft erhitzt sich dabei, mitgerissene Drahtteilchen kommen ins Glühen und wir nehmen eine Lichterscheinung wahr: den elektrischen Funken. Das Überfließen der elektrischen Eigenschaft nennen wir Strom.

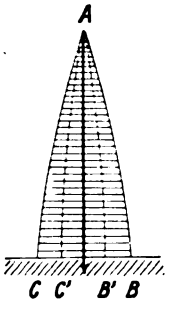


Fig. 128.

Der Vorgang vollzieht sich aber unter starker Spannung mit allen Kennzeichen der Elastizität. Wie eine gespannte Feder nach ihrer Auslösung, d. h. nach plötzlicher Beseitigung der Hemmung, über die Gleichgewichtslage hinausschießt und erst nach einer Reihe von zitternden Schwankungen zur Ruhe kommt, so geht auch hier die elektrische Eigenschaft in die pulsierend bewegte Form über, in einen Wechselstrom, aber von einer so ungeheueren Frequenz, wie wir sie durch mechanische Bewegungsmittel auch nicht annähernd erzeugen können. Die elektrische Spannung des Drahtes wechselt dabei unaufhörlich zwischen Überdruck und Unterdruck, während die glühende Funkenstrecke eine den Draht mit der Erde verbindende Bahn darstellt.

Die Strömung nimmt dabei eine eigenartige Form an: da das Abfließen der Ladung von allen Stellen des Drahtes zugleich erfolgt, muß die Stärke des Stromes nach unten hin zunehmen. In einem bestimmten Moment haben wir also eine Stromverteilung wie sie die Figur 128 in AB uns zeigt,

Digitized by Google

wenn wir die Stärke der Strömung an jeder Stelle durch eine wagerechte Linie angeben. Dabei nimmt die Ladung allmählich ab, so daß im nächsten Moment nicht mehr AB sondern AB' die Stromverteilung veranschaulicht. Nach völligem Verschwinden der Ladung beginnt, dem oscillierenden Charakter der Erscheinung entsprechend, ein Zurückfließen des Stromes. Tragen wir der Richtungsänderung Rechnung, so können wir die Stärke dieser Strömung durch wagerechte Linien nach links darstellen. Dem Anschwellen der Strömung entspricht ein Übergang von AC' nach AC.

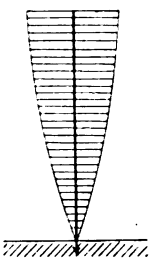


Fig. 129.

In umgekehrter Weise verhält sich die Verteilung der Spannung. Dort, wo das Fließen am geringsten, an der Spitze des Drahtes, staut sich die Ladung, die Spannung ist dort am größten, unten ist sie immer im Fließen, daher ohne jede Spannung. Die Fig. 129 zeigt uns die Spannungsverteilung, wenn wir den Überdruck nach rechts, den Unterdruck nach links auftragen. Wen erinnerte dieses Bild nicht an eine schwingende Latte, die an ihrem unteren Ende festgeklemmt ist? Den elektrischen Spannungen entsprechen die seitlichen Ausbiegungen der Latte von ihrer Gleichgewichtslage.

Die ganze Schwingung entspricht einer sogenannten stehenden Wellenbewegung. Dies wird uns klar, wenn wir irgend eine Welle betrachten, z. B. eine solche, die wir an einem ausgespannten Seil erzeugen. Wäre dasselbe unendlich lang, so würde jede Erschütterung des Anfangs in Form einer Welle am Seil dahinlaufen. Nehmen wir eine begrenzte Länge; die hineilende Welle wird jetzt am Ende reflektiert, sie läuft zurück und wir erhalten das Phänomen einer stehenden Welle. Jedes Seilteilchen erfährt von der hineilenden Welle Aus-

Digitized by Google

bauchungen nach oben und unten, ebenso von der reflektierten, an einzelnen Stellen verstärken sie sich, weil sie gleichgerichtet sind, an anderen erfahren sie eine Schwächung, weil sie gegeneinander wirken. Es gibt Stellen, wo sie gleich und entgegengesetzt gerichtet sind, dort bleibt das Seilteilchen in Ruhe. Man nennt diese Stellen die Knotenpunkte, die Stellen stärkster Ausbiegung dagegen die Bäuche. Die Entfernung zweier Knotenpunkte (Fig. 130) gibt uns die halbe

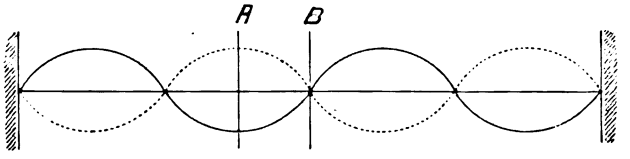


Fig. 130.

Wellenlänge. Greifen wir nun einen Abschnitt AB heraus, so sehen wir sofort die Übereinstimmung mit der schwingenden Latte; wir erkennen, dafs sie in einer stehenden Viertelwelle schwingt. Dies zeigt uns die Möglichkeit, den Begriff der stehenden Welle auch auf den elektrischen Schwingungszustand eines Drahtes zu übertragen. Unten an der Erde, d. h. an der leitenden Fläche haben wir den Knotenpunkt der elektrischen Spannung, oben den Bauch. Umgekehrt verhält sich die Schwingung der Strömung, sie hat oben den Knoten und unten den Bauch.

Der sich zur Erde entladende Draht ist von elektrischen Pulsationen durchzuckt, die im stetigen Wechsel ihre Richtung umkehren. Der umgebende Raum wird dadurch magnetisch erregt, d. h. es werden magnetische Wirbel rund um den Draht hervorgerufen, die ihre Stärke und Richtung im gleichen Tempo ändern. Legen wir durch den schwingenden Draht an irgend einer Stelle eine horizontale Ebene und tragen wir

Digitized by Google

die rechtwinklig zum Strom schwingende magnetische Kraft nicht in der Ebene selber, sondern als Senkrechte auf, so nimmt diese Linie zu und ab. Bei Stromumkehrungen ändert auch die Kraft ihre Richtung, wir tragen sie im Bilde nach unten auf. An jeder Stelle der Ebene schwankt also die magnetische Kraft hin und her. Werfen wir auf eine ruhende Wasserfläche einen Stein, so entstehen ringförmige Wellen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten. Genau so verhalten sich die magnetischen Wellen, von denen uns Heinrich Hertz gezeigt hat, daß sie mit Lichtgeschwindigkeit, 300 000 km in einer Sekunde, ihre Radien vergrößern. Treffen sie nun auf ihrem Wege ein Hindernis, etwa einen Draht, so werden sie zum Teil dort zurück geworfen, zugleich bilden sich im Drahte stehende Wellen aus. Die Intensität des Wellenschlages hängt von dem erzeugenden Strom ab, in den weiter unten liegenden Horizontalebenen entstehen also stärkere Wellen als in den oberen, deshalb zeigt der Auffangedraht die gleiche Verteilung der Stromstärke wie der Sendedraht. Die elektrischen Spannungen verhalten sich umgekehrt, sie sind oben am stärksten. Die leitende Fläche oder die Erde, welche wir bei den bisherigen Betrachtungen dem schwingenden Draht gegenübergestellt haben, ist wie ein Reservoir zu betrachten, welches die im Funken übertretende elektrische Eigenschaft aufnimmt, um sie beim Zurückschwingen dem Drahte wieder mitzuteilen. Wir können sie auch ersetzen durch einen gleich langen Draht. Für Versuche im Zimmer ist dies zu empfehlen, da wir isolierte Drähte leichter ausspannen können als größere leitende Flächen. Dort hinten im Saale ist ein solcher Draht mit isolierenden Fäden zwischen den gegenüberliegenden Wänden gehalten. In der Mitte ist er metallisch unterbrochen. Laden wir ihn mit gespannter Elektrizität, bis der Funke sich bildet, so pendelt

Digitized by Google

die Spannung entsprechend der Winkelbreite zwischen den punktierten Linien der Fig. 131. Der gesamte Draht schwingt jetzt in einer stehenden halben Welle. Hier vorn ist ein Auffangedraht von gleicher Länge gespannt, aber nicht unterbrochen in der Mitte, er nimmt unter dem Einfluß der heranflutenden magnetischen Wellen, die gleiche Spannungsverteilung an. Nähere ich meinen Finger dem freien Ende, so sehe ich kleine Funken übersprühen und fühle ihr leichtes Prickeln. Ich will sie Allen sichtbar machen, indem ich sie benutze, um eine stärkere elektrische Kraft auszulösen. Eine Bogenlampe ist zu diesem Zwecke dort aufgestellt, die Kohlen sind durch einen kleinen Zwischenraum getrennt. Trotz ihrer Verbindung mit den Polen einer starken Batterie kann ein Strom nicht übertreten, weil die Spannung der Batterie zu gering ist, um den Zwischenraum durch einen Funken zu überbrücken. Erzeuge ich aber Schwingungen, so erhöhe ich damit die elektrische Spannung an den Kohlen um mehr als das tausendfache, die Schwingungsfunken spritzen nun über, und die hoch erhitzte Luftbahn der Funken bildet eine Brücke für den Übertritt des Batteriestromes. Diesen Moment zeigt uns das Aufleuchten blendenden Lichtes. Der Strom der Schwingungsfunken wäre zu gering um die Lampe zum Leuchten zu bringen: er holt sich gleichsam Vorspann aus der Batterie. Mit solcher Einrichtung können wir aber noch nicht telegraphieren, denn wollte man die Punkte und Striche des Morsealphabets durch kürzeres und längeres Leuchten der Lampe hervorrufen, so müßte erst noch ein Mittel erfunden werden,

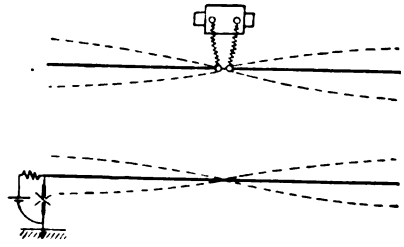


Fig. 131.

Digitized by Google

um das Funktionieren der Lampe vom Sendeort aus auch wieder zu unterbrechen. Eine selbsttätige Unterbrechung hat der russische Professor Popoff erfunden, der vor wenigen Wochen verstorben ist. Diese Erfindung hat die drahtlose Telegraphie in ihren Anfangsstadien ermöglicht. Er hat die großartige Verwertung derselben während des russisch-japanischen Krieges noch erlebt. Wir wollen einen Ruhmeskranz auf sein frisches Grab legen.

Ich habe hier im Modelle eine solche Telegraphiereinrichtung aufgestellt (Fig. 132a und 132b), welche ein drahtloses Korrespondieren von einer Ecke des Saales zur andern ermög-

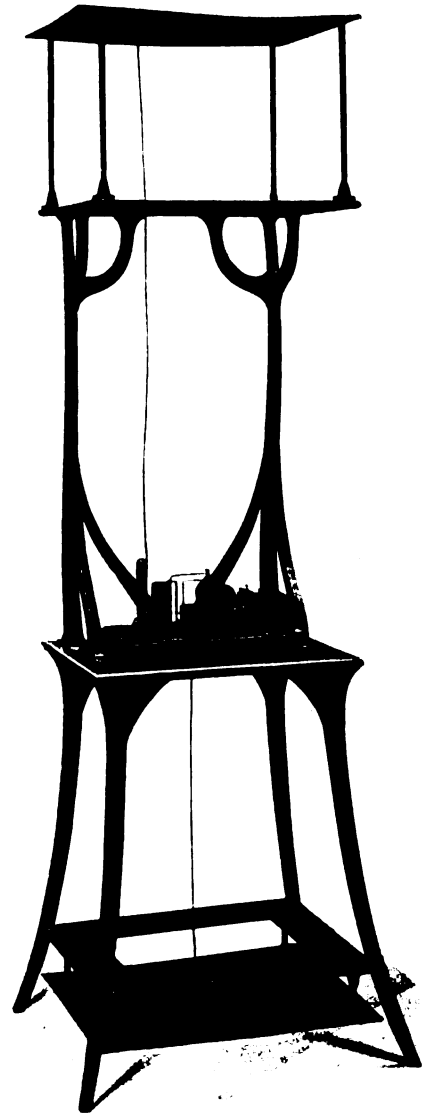


Fig. 132a.

Digitized by Google

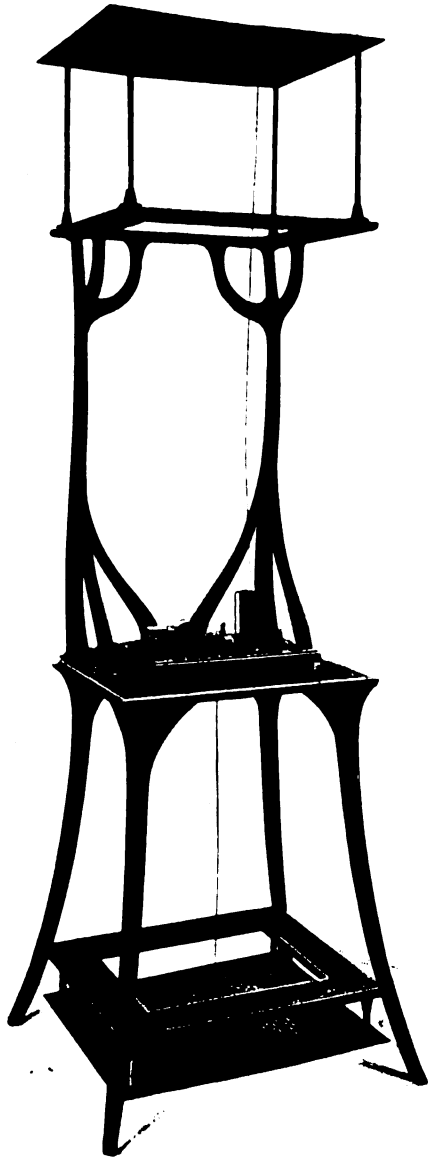


Fig. 132b.

licht, bei entsprechender Vergrößerung könnten wir damit meilenweit telegraphieren.

Wir bedienen uns dabei einer Erfindung des französischen Forschers Branly, welche ähnliches leistet wie die oben benutzte Bogenlampe. In einer winzigen Glasröhre ist zwischen zwei Metallkolben metallisches Pulver eingeschlossen. (Fig. 133.) Da die einzelnen Teilchen desselben sich nur in Spitzen oder überaus scharfen Kanten berühren, so bieten sie für den Durchgang des Stromes einen enormen Widerstand. — Befindet sich ein solches Röhrchen, in

Digitized by Google

Deutschland Fritter genannt, an der Stelle einer Empfangsleitung, die beim vorigen Versuch die Bogenlampe einnahm, so kann auch hier eine an die beiden Kolben geschlossene Gleichstromquelle einen Strom nicht liefern. (Fig. 134.) Der hohe Widerstand des Fritterpulvers wirkt wie eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber durch heranwogende magnetische Wellen elektrische Spannung im Auffangedraht hervorgerufen, so springen feine Fünkchen über, die man mit dem Mikroskope sogar hat wahrnehmen können, und bilden eine leitende Brücke für den Gleichstrom der angeschlossenen Batterie.

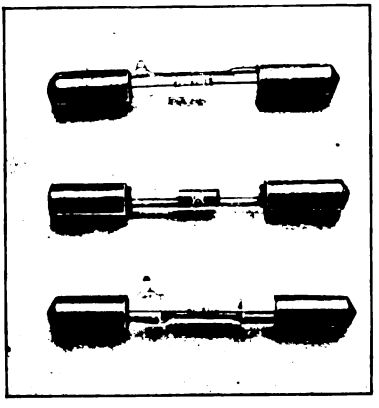


Fig. 133.

Die starke Hitze, welche die Schwingungsfunken an den sich berührenden Spitzen und Kanten hervorrufen, schweißt sie zusammen und baut eine metallische Brücke für den Übertritt der marschbereiten elektrischen Reserven der Gleichstromquelle. Dieser verhältnismäßig starke Strom passiert dabei die Windungen eines elektromagnetischen Weckers, der mit seinem Klöppel gegen die Glasröhre schlägt und die Brücke im Fritter erschüttert. Dies verträgt ihr leichter Bau nicht, sie bricht zusammen und sperrt von neuem den Übergang. Die elektrischen Schwingungen sind also Pionieren vergleichbar, welche eine Brücke schlagen, die unter dem wuchtigen

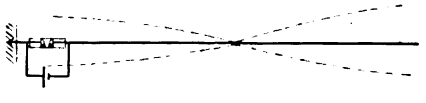


Fig. 134.

Digitized by Google

Tritt der ersten marschierenden Kolonne zusammenstürzt. Einige erreichen jedoch das rettende Ufer. In der Fixigkeit sind die elektrischen Schwingungen den Pionieren aber über, denn sie reparieren die zerstörte Brücke in den Bruchteilen einer Sekunde. Jetzt ist eine Zeichengebung möglich. Ein einziger Funke, den ich am Sendeort erzeuge, baut die Brücke, die sofort wieder zerfällt, wir hören einen einmaligen Schlag des Klöppels, das ist ein Punkt des Morsealphabets. Durch wiederholtes Funkengeben können wir den Vorgang beliebig oft wiederholen und hören länger andauerndes Klopfen: einen Strich des Morsealphabets. Das geübte Ohr des Telegraphisten liest gleichsam die Buchstaben wie das Auge das Alphabet. Auch kann man in den Stromkreis noch einen Apparat schalten, welcher den Vorspann einer noch stärkeren Batterie herbeischafft, um einen Morseschreiber zu betätigen, der die gegebenen Zeichen in Punkten und Strichen auf Papier fixiert.

Das war die einfache Methode, nach welcher Marconi im Jahre 1897 seine ersten epochemachenden Telegraphierversuche vornahm. Er überbrückte damals allerdings nur wenige Kilometer. Wir wissen heute weshalb, denn wichtige Eigenschaften der elektrischen Schwingungen waren damals der Technik noch unbekannt. Ihre volle Beherrschung gelang erst durch die wissenschaftliche Vertiefung, welche der Funkentelegraphie seitdem zu Teil wurde. Eine große Zahl von Forschern ist daran beteiligt, so daß es nicht richtig wäre, den erzielten Fortschritt an vereinzelte Namen zu knüpfen; nur eines dürfen wir mit Sicherheit behaupten: der größte Teil dieser Arbeit wurde in Deutschland geleistet. Ein neuer Beweis dafür, daß die reichen Mittel, welche deutsche Regierungen und Parlamente für das wissenschaftliche Studium technischer Prozesse bereit zu stellen gewohnt sind, nicht ohne Nutzen verbleiben.

Digitized by Google

Zwei wichtige Eigenschaften der Schwingungen sind es, deren Kenntnis erst die volle technische Beherrschung ermöglichte, wir nennen sie Resonanz und Dämpfung.

Der Begriff der Resonanz ist, wie schon der Name besagt, aus der Akustik übernommen. Die Tonhöhe, welche eine Stimmgabel liefert, entspricht der Anzahl der Vibrationen

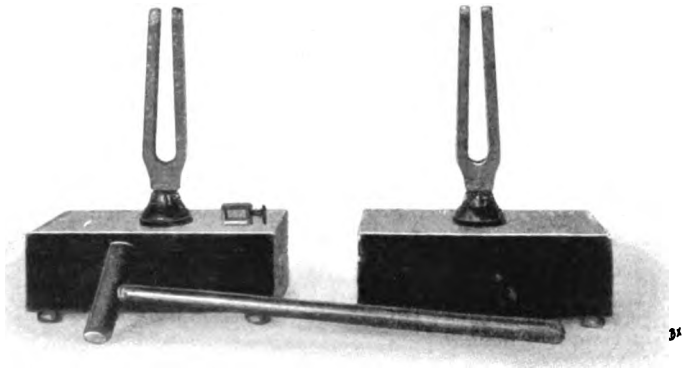


Fig. 135.

in einer Sekunde, es ist die Eigenschwingung der Gabel. Statt durch einen Schlag oder den Strich eines Violinbogens, kann die Gabel auch durch geringe Impulse etwa durch Lufterschütterungen in Schwingung gesetzt werden. Das Experiment gelingt aber nur wenn das Tempo dieser Erschütterungen der Eigenschwingung der Gabel entspricht. Ich schlage hier eine zweite gleiche Stimmgabel an und unterdrücke dann ihre Eigenschwingungen, indem ich sie festhalte. (Fig. 135.) Sie hören trotzdem noch den Ton, er rührt aber jetzt von der ersten Gabel her, welche durch die Lufterschütterungen zum Mitschwingen veranlaßt ist. Hebe ich die Resonanz auf, indem ich die Gabel durch Befestigung

Digitized by Google

eines kleinen Zusatzgewichtes verstimme, so findet, wie Sie hören, die Übertragung nicht mehr statt.

Eine belastete Spiralfeder (Fig. 136) zeigt uns die Eigenschaft der Resonanz besonders deutlich. Setzen wir sie durch einmalige Störung ihrer Gleichgewichtslage in Bewegung, so nehmen Sie ihre Eigenschwingung wahr. Es sei nun die Aufgabe gestellt, die Feder durch Mitteilung kleiner Impulse zum intensivsten Schwingen zu bringen. Ich führe zu diesem Zweck mit einem Bleistift einen sanften Schlag gegen die angehängte Schale. Klopfe ich schnell, so bewegt sich die Feder kaum, sie zittert nur leise; bei ganz langsamem Tempo ist ebensowenig zu erreichen, klopfe ich aber im Tempo der Eigenschwingung, so sehen Sie die belastende Schale immer stärker auf- und niedertanzen. Trotz der geringen Stärke jedes einzelnen Schlages können wir die Schwingung bis zum Bruch der Feder steigern. Welch große Kraftanstrengung gehört dazu, um eine Kirchenglocke soweit aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen, daß der Klöppel dagegen schlägt; doch kann ein Kind die Glocke läuten, wenn es mit seiner schwachen Kraft im Tempo der Eigenschwingung am Seile zieht.

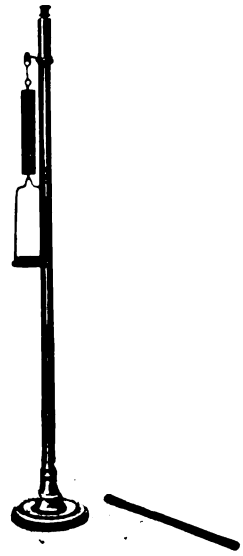


Fig. 136.

Alle elastischen Körper zeigen die Resonanz, ihre Gewalt kann unter Umständen verhängnisvoll werden. Truppenkörper dürfen eine Brücke nicht im Gleichtritt des Marsches passieren. Das Tempo könnte mit der Eigenschwingung der

Digitized by Google

Brücke zusammenfallen und sie gefährden. Wie verheerend wirkt manchmal der Windbruch im Forst; kommen die Windstöße nur für kurze Zeit im Tempo der pendelnden Baumbewegung, so knicken sie den stärksten Riesen wie einen Strohhalm.

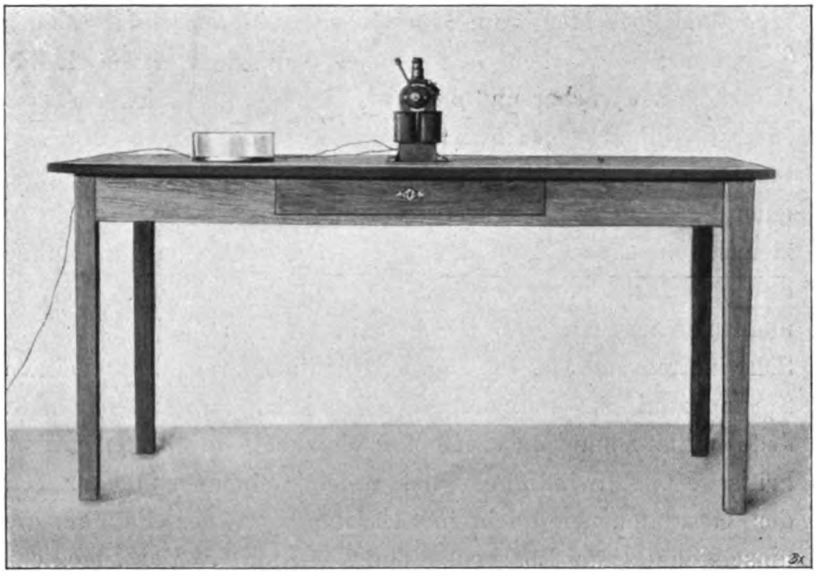


Fig. 137.

Betrachten Sie diesen schweren eichenen Tisch (Fig. 137), er kann zwei Arten von Schwingungen annehmen, nämlich zunächst um die Stützpunkte seiner Füße, sodann kann die Platte federn wie eine festgespannte Membran. Die Eigenschwingungen haben verschiedene Frequenz, ich will Erschütterungen erzeugen, so daß die Bewegung weithin sichtbar wird. Auf dem Tisch steht ein durch Elektrizität betriebener Motor, dessen Welle exzentrisch belastet ist. Durch die Zentrifugalkraft desselben erfährt der Tisch Zerrungen

Digitized by Google

nach beiden Schwingungsrichtungen. Bei einem bestimmten Tempo, d. h. bei einer bestimmten Umlaufgeschwindigkeit des Elektromotors kommt die Tischplatte und der ganze Tisch in lebhafte Horizontalschwingungen um die Fußpunkte der Tischbeine. Bei größerer Geschwindigkeit wird die Frequenz der Tischplatte allein erreicht, sie schwingt wie eine am Umfang befestigte Membran, ähnlich wie die Schallplatte eines Telephons. Zwischen den beiden kritischen Geschwindigkeiten, sowie vorher und nachher, verharrt der schwere Tisch in fast vollkommener Ruhe. Ein mit dem Elektromotor verbundener Tourenzähler zeigt zugleich, daß bei Erreichung einer kritischen Frequenz die Zufuhr elektrischer Energie in ziemlich beträchtlichem Maße gesteigert werden kann, ohne daß eine Beschleunigung des Elektromotors eintritt. Die vermehrte Energiezufuhr dient lediglich zur Steigerung der Schwingungsenergie, bis schließlich die Tourenzahl mit einem Sprung zunimmt und der Tisch wieder zur Ruhe kommt. Jede umlaufende Maschine hat demnach mindestens eine kritische Geschwindigkeit, bei welcher ein ansehnlicher Teil der Gesamtenergie sich in Schwingungen der Fundamente umsetzt und zur Lockerung derselben führt. Der Ingenieur hat also sorgfältig die Ausbalanzierung aller rotierenden Maschinenteile zu beachten oder, wenn dies nicht möglich, Geschwindigkeiten zu wählen, welche von den Eigenschwingungen der gesamten Maschine mit ihren Fundamenten tunlichst weit entfernt bleiben.

Einem größeren Auditorium läßt sich der lehrreiche Versuch deutlich vor Augen führen, wenn man auf den Tisch eine große kreisrunde mit Quecksilber gefüllte Glasschale stellt. Die den beiden Resonanzfällen entsprechenden Wellenbewegungen des Quecksilberspiegels erzeugen äußerst charakteristische weithin erkennbare Formen.

Digitized by Google

Bei den elektrischen Schnellbahnversuchen vor zwei Jahren schwappten gefüllte Wassergläser auf den Tischen nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit über; die Eigenschwingung des federnden Wagens stand dabei in Resonanz mit den Schienenstößen auf die Räder. So könnte ich die Beispiele noch zahlreich vermehren. Nur noch eines, weil es besonders verhängnisvolle Wirkungen der Resonanz zeigt:

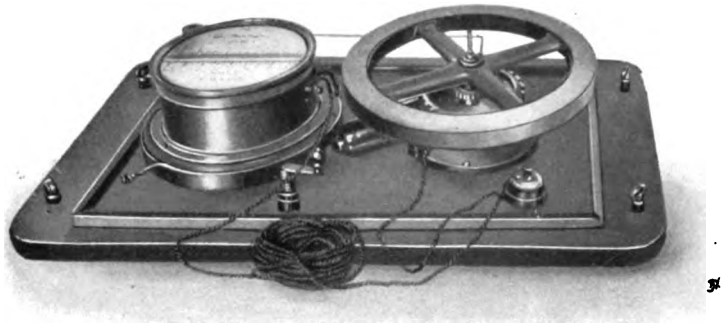


Fig. 138.

ein Wellenbruch auf der „Deutschland“ wurde durch die Torsionsschwingungen der Welle verursacht, die in Resonanz kamen mit den vom Hubwechsel der Dampfmaschinen herrührenden Stößen.

Ein gewöhnlicher mechanisch angetriebener Umdrehungszähler läßt sich für den Versuch nicht verwenden, da er infolge der Erschütterungen nicht regelmäßig genug funktionieren würde. Geeignet ist dagegen der neue Ferntourenzähler von Frahm, der gleichfalls auf dem Prinzip der Resonanz beruht. (Fig. 138.) Auf die Welle, deren Tourenzahl gemessen werden soll, ist ein kleines eisernes Rad mit vorspringenden breiten Zähnen gekeilt und dicht an die

Digitized by Google

Peripherie desselben ein Elektromagnet mit magnetischem Kern gerückt. Durch den Vorübergang der einzelnen Zähne vor den Polen des Elektromagneten, werden in den Windungen desselben kurze Stromstöße hervorgerufen, deren Frequenz von der Rotationsgeschwindigkeit der Welle abhängt. Die so erzeugten pulsierenden Ströme werden durch eine Leitung auf den beliebig weit entfernten Tourenzähler übertragen. In diesem ist ein anderer Elektromagnet angeordnet, dessen magnetische Kraft durch die Stromstöße sich in stetigem Wechsel ändert und auf einen um eine horizontale Achse federnden eisernen Kamm einwirkt. Den Strompulsationen entsprechend wird dieser ganze Kamm in geringe Erschütterungen von gleicher Frequenz versetzt. Durch eine geistvoll erdachte Einrichtung werden die Erschütterungen nun an einer bestimmten, der Frequenz entsprechenden Stelle sichtbar gemacht. Die einzelnen Zähne des Kammes sind nämlich ähnlich wie die Metallzungen einer Spieldose von verschiedener Länge und besitzen infolgedessen verschiedene Eigenschwingungsfrequenzen. Wird nun der ganze Kamm mit einer beliebigen Frequenz erschüttert, so kommt doch nur diejenige Metallzunge in lebhaftere Bewegung, deren Eigenfrequenz damit übereinstimmt. Das umgebogene weiß gestrichene Ende der Zunge liefert bei der Schwingung einen deutlichen hellen Strich und läßt an der Marke der daneben befindlichen Teilung die Tourenzahl des Motors erkennen.

Die elektrischen Schwingungen befolgen die gleichen Gesetze der Resonanz. Erzeugen wir elektrische Schwingungen nach der einfachsten Methode mit Hilfe einer Kleist'schen Flasche. Eine Glasplatte mit Metallbelegungen auf beiden Seiten leistet dasselbe. Wir wollen sie mit Drähten verbinden, deren Enden sich nicht berühren, sondern einen kleinen Luftraum zwischen sich lassen. Wir laden die eine

Digitized by Google

Belegung, indem wir Hochspannung zuführen, oder wirkungsvoller, wenn wir zugleich die andere Belegung auf Unterspannung bringen. Die kleinen Kugeln an der Unterbrecherstelle nehmen die gleichen Spannungsdifferenzen an; erreichen sie eine gewisse Größe, so entladen sich die Belegungen durch den Funken und elektrische Schwingungen durchzucken nunmehr den geschlossenen Kreis. Die Forschung hat schon vor 50 Jahren gezeigt, daß die Frequenz dieser Schwingungen nur von zwei Größen abhängt: von der Aufnahmefähigkeit oder Kapazität der Flasche und von Länge und Form des den Kreis bildenden Drahtes, der sogenannten Selbstinduktion desselben. Beide Größen sind der Messung und Rechnung zugänglich. Die Schwingungsfrequenz ist stets durch ihr Produkt bestimmt, wir wollen dasselbe die Schwingungsgröße nennen. Hieraus folgt, daß ein zweiter ähnlicher Kreis dieselbe Eigenfrequenz haben muß, wenn seine Schwingungsgröße die gleiche ist.

Hier stehen zwei solche Kreise nebeneinander (Fig. 139), in dem einen befinden sich zwei Kleist'sche Flaschen, ein kurzer Drahtbügel führt zur Funkenstrecke, die in einem geschlossenen Ebonitkästchen untergebracht ist, um den grellen Funkenschein zu verdecken. In dem zweiten vorderen Kreis haben wir nur eine Flasche, also nur eine halb so große Kapazität, der Drahtbügel, welcher die Belegungen verbindet, ist länger und kann durch Verschieben eines Gleitdrahtes beliebig verlängert werden. Wollen wir den zweiten Kreis in elektrische Resonanz bringen mit dem ersten, so müßte der Drahtbügel etwa doppelt so lang sein wie bei jenem, denn die Kapazität ist nur halb so groß. Das pulsierende Magnetfeld des ersten Kreises, durch die Entladung der Flasche erregt, bewirkt nun in dem zweiten Kreis bei vorhandener Resonanz so lebhafte Schwingungen, daß die Flasche sich

Digitized by Google

ladet und zwischen den beiden Belegungen, die durch einen über den Rand des Glases reichenden Bügel genähert sind, ein Funkensprühen erzeugt wird, gleichsam ein Überlaufen der Flasche. Der Versuch zeigt uns, daß dies aber nur gelingt bei einer bestimmten Länge des verbindenden Bügels.

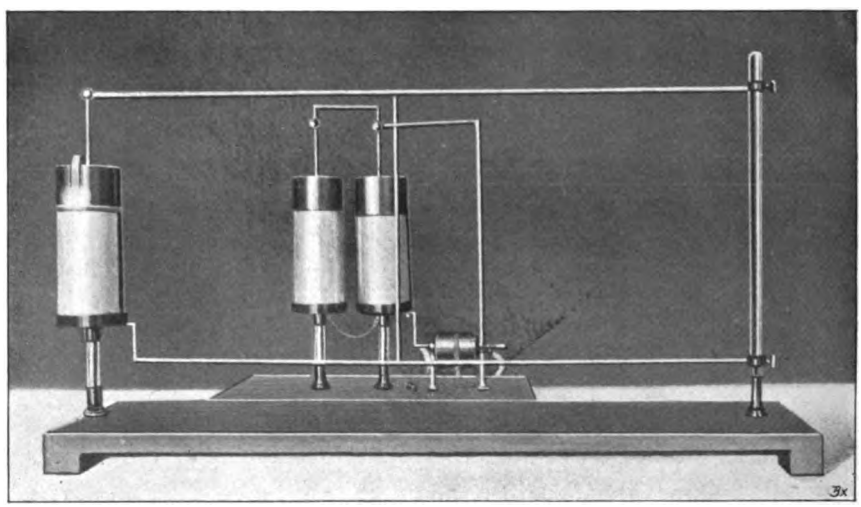


Fig. 139.

Das Experiment entspricht also völlig dem früheren Stimmgabelversuch.

Auch das Experiment mit dem Zünden der Bogenlampe gelang nur bei Resonanz, die verwendeten Drähte waren von gleicher Länge, hatten also gleiche Schwingungsgrößen. Verkürzen wir den einen, so mißlingt der Versuch, machen wir sie wieder gleich lang, so antwortet die Lampe prompt auf die hergestellte Resonanz. In diesem Fall sind Kapazität und Selbstinduktion der Drähte gleich.

Um zu zeigen, daß es tatsächlich auf die Gleichheit der Produkte ankommt, will ich eine Resonanzerscheinung her-

Digitized by Google

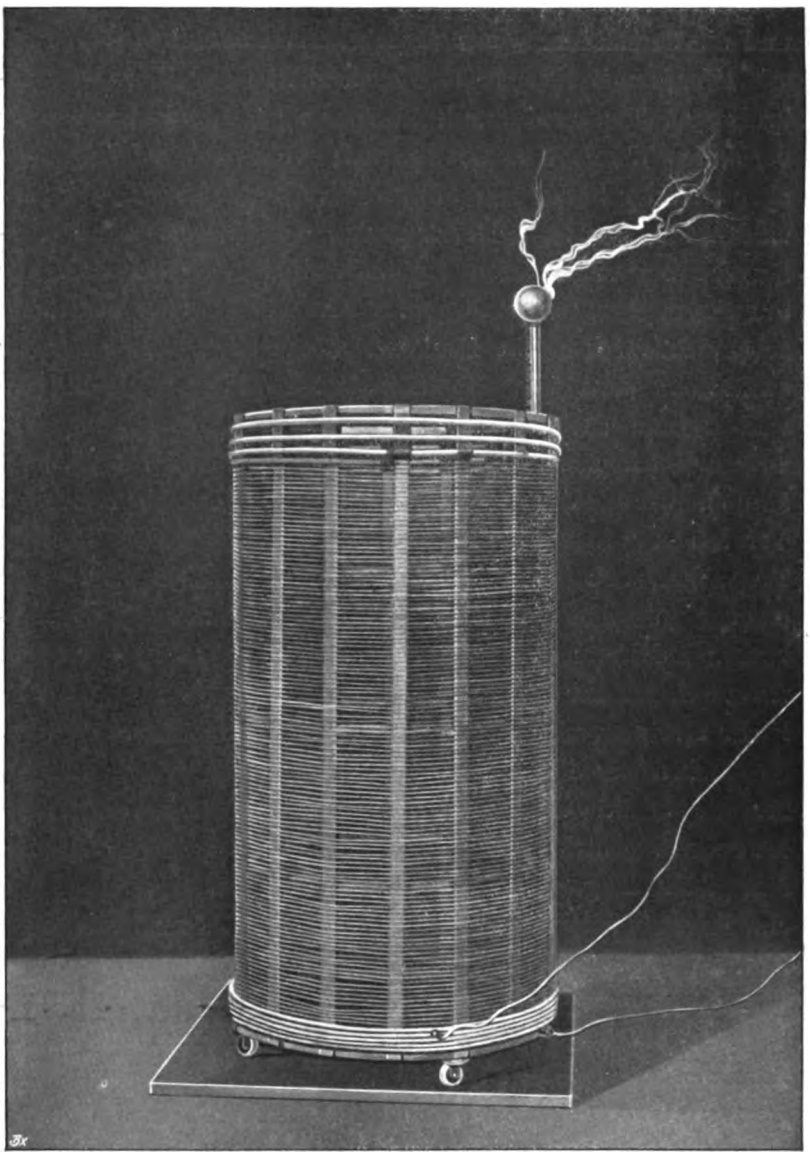


Fig. 140.

Digitized by Google

vorrufen, bei der sich die Kapazitäten etwa wie 10 000 zu 1 und die Selbstinduktionen umgekehrt verhalten.

Hier ist mit einer großen Flaschenbatterie ein Schwingungskreis aufgebaut und durch kurzen Bügel geschlossen. Wir verbinden damit eine Drahtspule von geringer Kapazität aber enormer Selbstinduktion, denn der aufgewickelte Draht ist lang. (Fig. 140.) Durch geringe Regulierung der Drahtlänge des geschlossenen Kreises wollen wir Gleichheit der Schwingungsgrößen erzeugen. Die eingetretene Resonanz zeigt sich durch starke Funkenstrahlung der Spule an. Sehr erklärlich: denn ihre Kapazität ist so klein, daß sie die schwingende Elektrizität nicht fassen kann, es findet ein Überlaufen in den Raum statt unter enormem Druck, es ist ähnlich wie das Aufspritzen einer Fontäne. Ich habe den Versuch nur in bescheidenen Dimensionen gezeigt, Nikola Tesla hat nach demselben Verfahren erstaunliche Wirkungen erzeugt in seinem hoch oben in den Colorado-Bergen erbauten Laboratorium. Die Photographien, welche er mir in freundschaftlicher Gesinnung zugeeignet hat, zeigen künstliche Blitze von 4 m Länge. (Fig. 141 und 142.)

Ziehen wir die Nutzanwendung aus diesen Erscheinungen für die drahtlose Telegraphie. In der alten Anordnung Marconis schwingt der Sendedraht in einer Viertelwelle, ein gleich langer Auffangedraht, an dessen unterem Ende ein Fritter sitzt, der in unbestrahltem Zustand die Verbindung mit der Erde unterbricht, kann nur in einer halben Welle schwingen, die Wellen verhalten sich also wie 1 zu 2. (Fig. 143.) Es ist keine völlige Resonanz, man müßte den Auffangedraht doppelt so lang machen wie den Sendedraht, das verbieten technische Schwierigkeiten. Im Jahre 1900 gelang ein an sich einfacher, aber für den Fortschritt der drahtlosen Telegraphie entscheidender Schritt. Durch Hinzu-

Digitized by Google

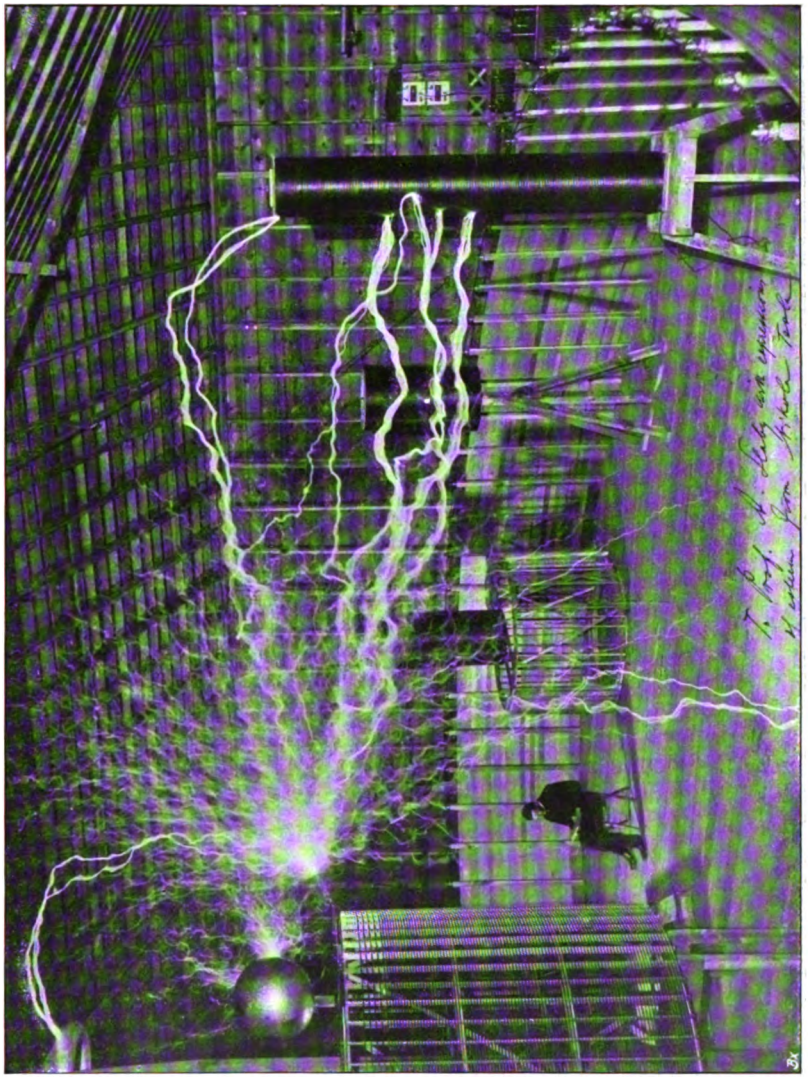


Fig. 141.

fügung eines horizontalen Verlängerungsdrahtes von einer Viertelwellenlänge wurde Resonanz erzwungen bei gleicher

Digitized by Google

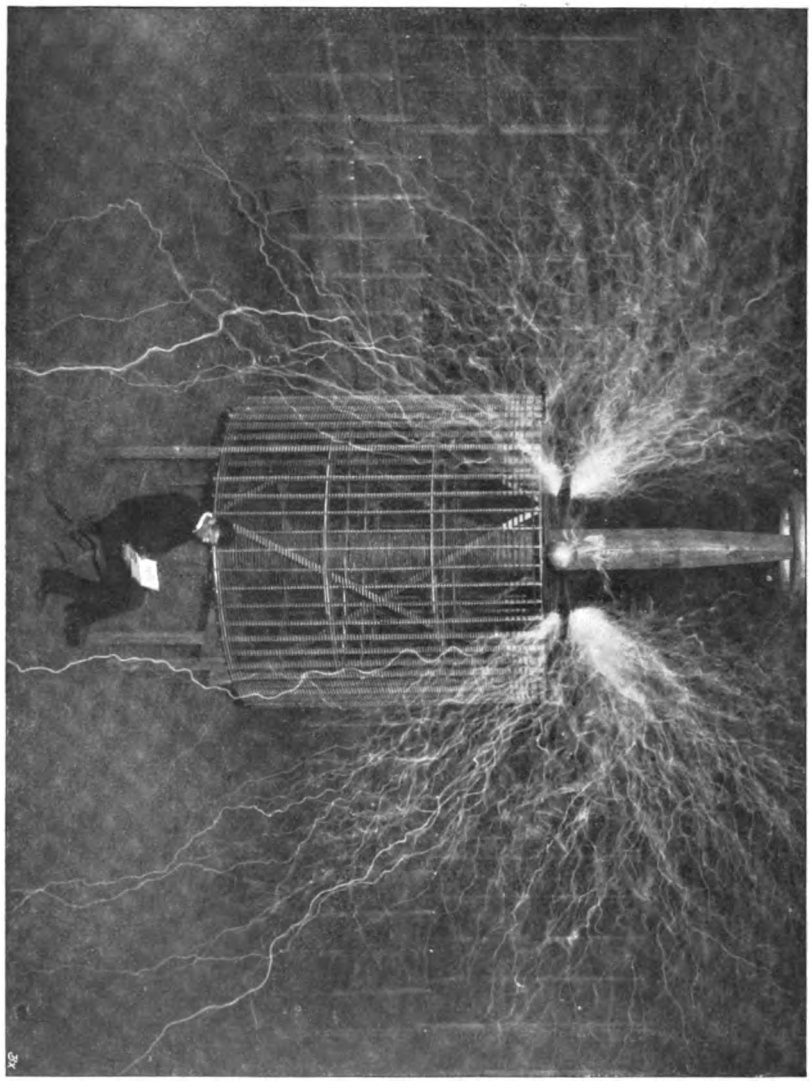


Fig. 142.

Länge des Auffangedrahtes. Es konnte ferner gezeigt werden, daß ein und derselbe Auffangedraht auch für andere Wellen-

Digitized by Google

längen in Resonanz zu bringen war, wenn man die Gesamtlänge, d. h. Auffangedraht + Verlängerungsdraht gleich der halben Wellenlänge machte. (Fig. 144.) Der Verlängerungsdraht nahm später die Form einer Spule an und bildete mit

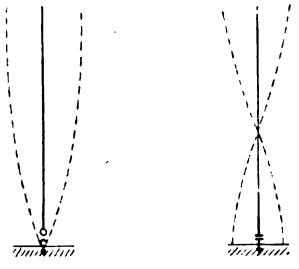


Fig. 143.

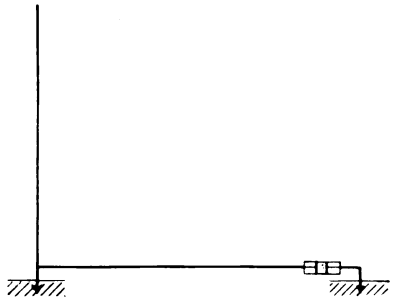


Fig. 144.

dem Fritter und der doppelten Erdung einen geschlossenen Kreis, in welchem Fritterkapazität und Selbstinduktion so bemessen wurden, daß die Schwingungsgrößen des geschlossenen Kreises einerseits und des geerdeten Auffangedrahtes andererseits gleich wurden, d. h. völlige Resonanz besaßen. Am 22. Dezember 1900 konnte das entscheidende Experiment in Gegenwart S. M. des Kaisers zum ersten Male mit völligem Erfolg gezeigt werden. Mit einem und demselben Auffangedraht wurden zwei Telegramme von verschiedenen Orten mit verschiedenen Wellenlängen zugleich aufgenommen. (Fig. 145.) Marconi behauptete später, ein ähnliches Experiment von der Insel Wight aus vorgenommen zu haben. Die Mitteilung seiner Methode hat er aber damals unterlassen.

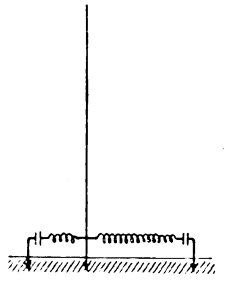


Fig. 145.

Digitized by Google

Das Problem der mehrfachen Telegraphie und zugleich die Abstimmung einer Empfangsstation auf verschiedene Wellen war damit technisch gelöst. Die deutsche Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hat dieses Verfahren unter Zufügung von anderen sinnreichen Erfindungen auf einen hohen Grad technischer Vollkommenheit gebracht. Die Kriegsschiffe der deutschen Marine arbeiten heute mit 5 verschiedenen Wellenlängen, deren jede bestimmten Zwecken dient. Wenn heute S. M. der Kaiser auf der Ost- oder Nordsee Geschwaderübungen beiwohnt, so ist über zahlreiche Küstenstationen eine ununterbrochene telegraphische Verbindung mit Berlin gesichert. Bei dem letzten Aufenthalt S. M. in Dänemark gelangte ein Telegramm aus den Gewässern bei Kopenhagen 25 Minuten nach Aufgabe in die Hände Ihrer Majestät in Berlin. Solche und ähnliche Einrichtungen sind für den Ernstfall eines Seekrieges nicht zu unterschätzen und sichern unserer Marine ein Hilfsmittel, welches andern Marinen in dieser Vollkommenheit vorläufig noch nicht zur Verfügung steht. Franzosen und Engländer arbeiten zur Zeit nur mit einer Wellenlänge. Eine Störung der deutschen Telegraphie erscheint bei der schnellen Änderungsmöglichkeit der benutzten Wellen kaum noch zu befürchten. Wenn in der englischen Presse immer wieder die Behauptung auftaucht, daß die Störungsmöglichkeit den Wert der Funkentelegraphie für Kriegszwecke stark herabmindert, so ist dies für die Einrichtungen in der deutschen Marine sicherlich nicht richtig.

Die vertiefte wissenschaftliche Behandlung der Funkentelegraphie machte die Erfindung von Instrumenten nötig, um die Größe der erzeugten elektrischen Wellenlängen bequem und exakt zu messen. Auch dies gelang unter Anwendung des Resonanzprinzips. Von den vielen heut in Ge-

Digitized by Google

brauch befindlichen Wellenmessern will ich nur einen erläutern, der den Vorzug großer Einfachheit hat. Dieser kleine Stab, den ich in den Händen halte, zeigt mir die

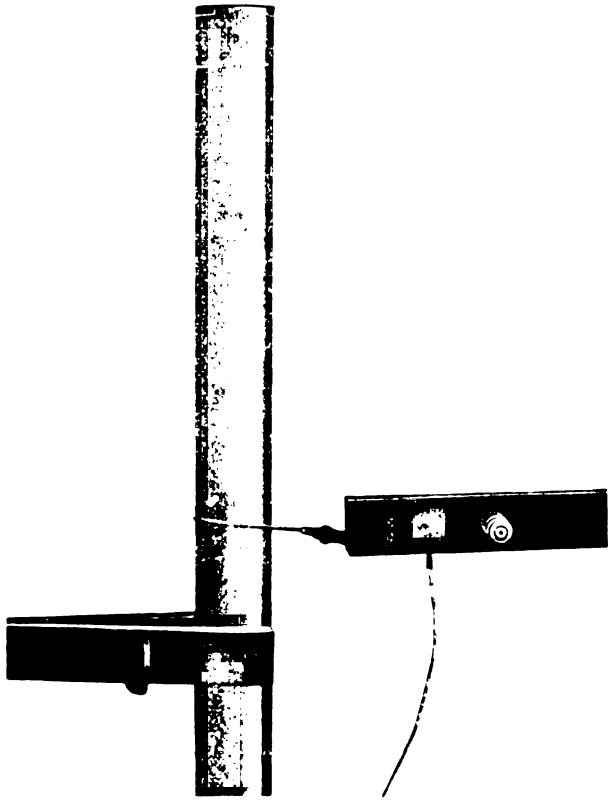


Fig. 146.

Wellenlänge an, sobald ich mich einem elektrischen Schwingungskreise damit nähere. (Fig. 146.) Ich habe ihm Multiplikator genannt, weil die zahlreichen Windungen aus feinstem Draht, die auf ein Glasrohr gewickelt sind, bei erreichter Abstimmung auf die Frequenz der auffallenden

Digitized by Google

Schwingungen, die elektrische Spannung in ebenso starkem Maße erhöhen, gleichsam multiplizieren, wie die vorhin gezeigte strahlende Spule. Dort war das untere Ende angeschlossen an die starke Kapazität der Kleist'schen Flasche, durch deren Entladung wir die elektrische Spannung erzeugten. Hier dient dazu mein eigener Körper, den ich anschalte, indem ich mit den Spitzen zweier Finger die dünne Spule umfasse. Gegenüber den minimalen Strömen, welche den dünnen Draht durchzucken, ist die Kapazität meines Körpers ausreichend, um an der Berührungsstelle einen Knotenpunkt der schwingenden Spannung zu erzeugen. Durch Hin- und Herfahren meiner Finger verlege ich den Knotenpunkt, bis die darüber liegenden Windungen auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmt sind. In diesem Augenblick sprüht die freie Spitze des Drahtes am oberen Ende des Stabes ein elektrisches Büschellicht aus, zwar nicht so gewaltig wie die meterlangen züngelnden Blitze der großen Resonanzspule, dessen Leuchtkraft ich aber verstärken kann durch Unterlegen eines Blättchens Papier, das mit Krystallen von Bariumplatincyanür bedeckt ist. Das winzige Büschellicht breitet sich dadurch aus zu einer intensiven grünlich leuchtenden Fackel, die von allen Plätzen des Saales deutlich erkennbar ist. Der Stab ist geeicht und an der Stelle, wo meine Finger die Spule berühren, lese ich die Wellenlänge ab. Messen wir jetzt die Wellenlänge der Schwingungen, von denen die große sprühende Spule durchzuckt wird — es sind 800 Meter. Schon das Gefühl zeigt mir die richtige Einstellung auf Resonanz: meine Finger verspüren ein deutliches Prickeln, das zunimmt, wenn ich mich der großen Spule nähere. Zwei Meter davon entfernt wird es so unangenehm, daß ich mit meinen gleitenden Fingern die Resonanzlage verlassen muß. Ich habe hierbei die Ein-

Digitized by Google

stellung auf eine stehende Viertelwellenlänge der Schwingung vorgenommen.

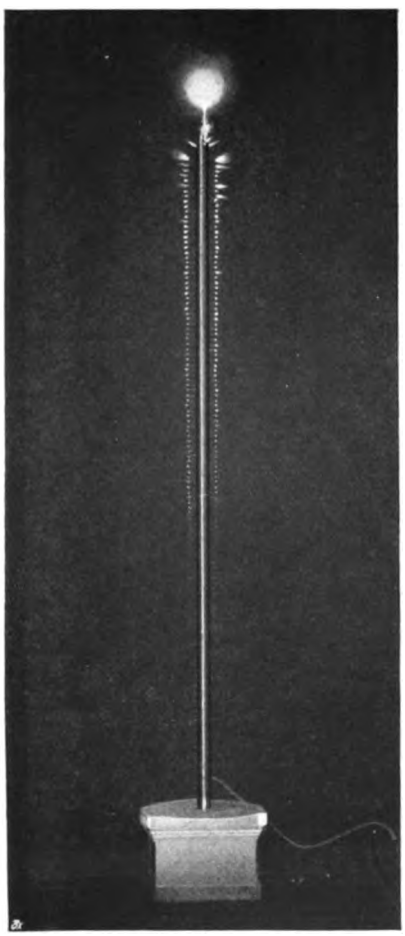


Fig. 147a.

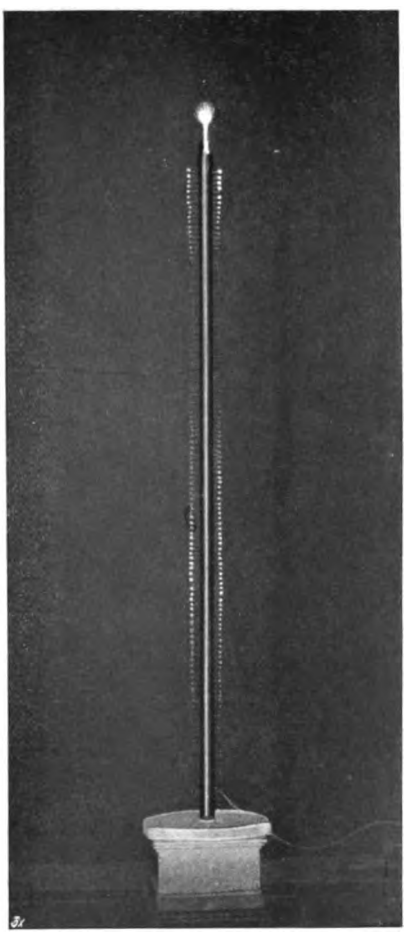


Fig. 147b.

Ebenso wie ich ein erschüttertes Seil in mehrfachen Wellenlängen, d. h. mit einer Anzahl von Knoten und

Digitized by Google

Bäuchen zum Schwingen bringen kann, gelingt dies auch beim Multiplikator. Hier habe ich einen Multiplikationsstab von ansehnlicher Länge aufgestellt, der die mehrfachen Spannungsbäuche durch das Sprühen von kleinen Kupferdrähten anzeigt, die quer zur Längsrichtung der Spule auf einer dünnen Holzplatte befestigt sind. Im verdunkelten Saal erkennen wir jetzt die Resonanz für 1, 3 und 5fache Viertelwellenlängen. (Fig. 147a, b und c.) Die elektrischen Schwingungen, die von der Spule ausgehend den ganzen Raum erfüllen, haben wir hierdurch sichtbar gemacht und ihre Wellenlänge gemessen.

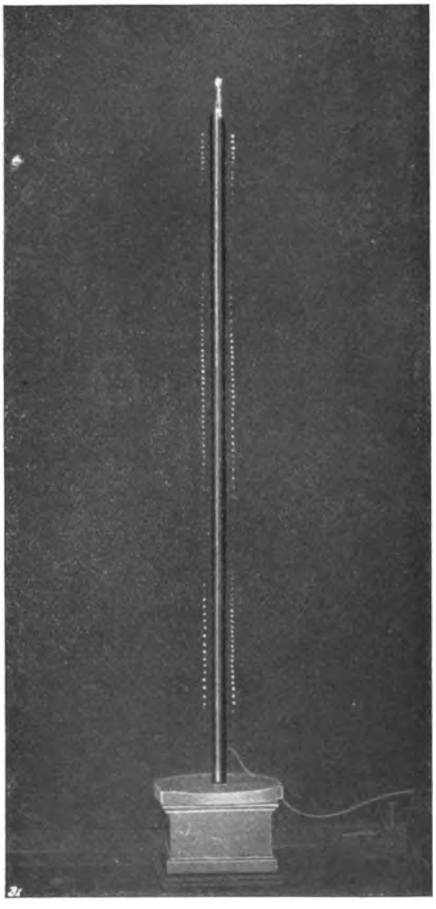


Fig. 147c.

Ein weiterer Fortschritt gegenüber der Erfindung Marconi's ist durch sorgfältige Beachtung der sogenannten Dämpfungserscheinung und zwar auch fast ausschließlich durch die Arbeit der deutschen Forschung erzielt worden. Wenn wir Schwingungen durch rein mechanische Mittel erzeugen, etwa durch eine Wechselstrom-

Digitized by Google

dynamomaschine, so erhalten wir Stromschwingungen, welche sich mit unverminderter Stärke beliebig oft wiederholen lassen. (Fig. 148.)

Anders ist es mit den schnellen Schwingungen die durch Funkenentladung einer Kapazität erzeugt werden, das sind die-

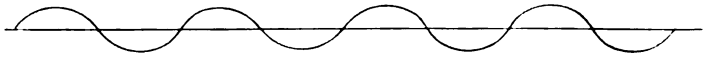


Fig. 148.

jenigen, mit denen wir bei der Funkentelegraphie zu tun haben. (Fig. 149.) Die Intensität der Schwingung nimmt dabei kontinuierlich ab, weil zwei Verluste von verschiedener Art auftreten.

Der erste bezieht sich auf die Erwärmung der Drahtmasse, welche die Schwingungsströme an der Sendestation durcheilen. Schon am Eingang der Vorlesung zeigte ich, daß jeder Draht der vom Strom durchflossen wird, sich erwärmt. Diese Wärme strahlt aus und ist für die periodische Wiederkehr der Stromschwingungen vergeudet. Die stärksten Verluste treten in der hocherhitzten Funkenstrecke auf. Hierdurch ist bedingt, daß die Schwingungen in ihrer Intensität ununterbrochen abnehmen. Der Wellenschlag in dem umgebenden Raum erstirbt schnell zu so minimalen Wallungen, daß Kraftwirkungen im Empfänger damit nicht mehr ausgeübt werden können.

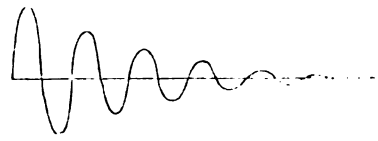


Fig. 149.

Ein zweiter Verlust hat eine wesentlich andere Bedeutung. Die Erregung des magnetischen Wellenschlages im Raume bedingt einen Kraftaufwand des elektrischen Stromes. Je stärker also ein Sender Fernwirkungsenergie ausstrahlt, desto schneller nimmt die Intensität der Schwingungen ab.

Digitized by Google

Man bezeichnet diese Abnahme als Dämpfungen der Schwingung, und zwar die erste als Widerstandsdämpfung, die letztere als Strahlungsdämpfung. Beide erfahren in der heutigen Funkentelegraphie eine sorgfältige und gesonderte Berücksichtigung.

Was zunächst die Widerstandsdämpfung betrifft, so ist ohne weiteres klar, daß dieselbe auf das geringste Maß herabgedrückt werden muß. Bei jeder motorischen Maschine, und als solche können wir auch den Sender der Funkentelegraphie betrachten, muß die innere Reibung und die davon herrührende sogenannte Leerlaufarbeit so weit wie möglich beschränkt werden. Durch sorgfältigste Arbeit der beweglichen Teile und durch reichliche Schmierung suchen wir z. B. bei der Dampfmaschine diese für die Nutzleistung verloren gehende Arbeit zu vermindern. In ganz ähnlicher Weise können wir die Erfindung deuten, welche zu einer wesentlichen Beschränkung der Widerstandsdämpfung geführt hat. Die Forschung hat gezeigt, daß der schädliche Widerstand einer Funkenstrecke, und um diese handelt es sich hauptsächlich, desto kleiner wird, je größer der pulsierende Strom ist. Eine Verstärkung des Schwingungsstromes in der Funkenstrecke kann man nun erzeugen, indem man einen zweiten starken Strom, der an der Fernwirkung unbeteiligt bleibt, darüber lagert. Diesen erzeugt man, indem man die Funkenstrecke außer an das Schwingungsgebilde an einen geschlossenen Kreis schaltet, der mit großer Kapazität ausgerüstet ist. (Fig. 150.) Je größer die Kapazität dieses angekuppelten Kreises gewählt wird, desto stärker ist die Stromüberlagerung in der Funkenstrecke, desto geringer ihr Widerstand. Die moderne Funkentelegraphie arbeitet fast nur noch mit diesem Hilfsmittel, welches den Kraftaufwand für den Betrieb einer Telegraphenanlage zwar wesentlich vermehrt, dafür die

Digitized by Google

Dämpfung der ausgestrahlten Schwingung aber wesentlich vermindert hat.

Eine andere Rolle spielt die Strahlungsdämpfung, es sind hierbei zwei Momente zu beachten. Je mehr man die ausgestrahlte Wirkung verstärkt, desto intensiver wird der magnetische Wellenschlag erregt, desto schneller klingt er aber auch ab. Es wäre falsch, wenn man durch geeignete Formgebung der Sendegebilde nur dahin streben wollte, die Intensität der Ausstrahlung zu vermehren, es ist vielmehr hierin ein weises Maß zu halten, damit die Schwingungen nicht zu schnell absterben, denn für die Resonanz des Empfängers ist es immer nur von Vorteil, wenn von der Anzahl der Impulse welche der Wogenschwall eines einzigen Entladungsfunkens hervorruft, tunlichst viele am Empfangsapparate zur Wirkung kommen können. Ein mechanisches Beispiel wird uns dies klar machen. Wollen wir eine schwere Glocke zum Läuten bringen, so würde ein starker Stoß am Zugseil dies weniger sicher erreichen lassen, als eine große Zahl wiederkehrender kleiner Impulse. Man pflegt heute durch besondere Einrichtungen das Sendegebilde so zu gestalten, daß die Strahlungsdämpfung gewisse Beträge nicht überschreitet.

Fig. 150.

Der sachgemäßen Anwendung der genannten Gesichtspunkte ist es aber zu danken, daß die Funkentelegraphie in den letzten Jahren ganz erstaunliche Fortschritte gemacht hat, und daß das deutsche System einen gewissen Vorsprung erlangt hat gegenüber den Bestrebungen in anderen Ländern. Während Marconi und seine Mitarbeiter in den letzten Jahren fast ihre ganze Kraft darauf gerichtet haben, immer größere Entfernungen zu überbrücken und demgemäß ihre Stationen zu gewaltigen Kraftanlagen ausgebildet haben, ist

Digitized by Google

es das Ziel der deutschen Bestrebungen gewesen, die Gesetze der drahtlosen Telegraphie immer eingehender zu erforschen und den Kreis ihrer Verwendung durch Ausbildung technisch vollendeter Konstruktionen zu erweitern. Der Erfolg dieser Arbeiten ist nicht ausgeblieben. Die Zahl der Stationen, welche in allen Teilen der Erde nach dem deutschen System im Betriebe stehen, nähert sich der stattlichen Zahl 600, während die Zahl der Stationen, welche alle übrigen außerdeutschen Gesellschaften errichtet haben, dahinter zurück bleibt. Aber auch Riesenstationen werden jetzt von der deutschen Gesellschaft geplant und errichtet, die größten derselben werden noch im Laufe dieses Sommers in Nauen und in Norddeich in Betrieb kommen. Die vorläufigen Versuche haben bereits gezeigt, daß es möglich sein wird, die Telegramme von der deutschen Küste weit über 1000 Meilen über den Ozean zu senden. Wenn sie erst im vollen Betriebe sein werden, dann wird auch für die Marconi-Gesellschaft der gebieterische Moment gekommen sein, sich einer internationalen Regelung aller funkentelegraphischen Fragen auf dem Gebiete des Ozeans nicht mehr zu widersetzen, wie es bis jetzt der Fall war. Es dürfte für die deutschen Stationen ein leichtes sein, die Riesenstation, welche die Marconi-Gesellschaft augenblicklich in Irland errichtet, durch planmäßige Störung vollständig lahm zu legen. Der schon vor Jahren entbrannte Zwist wird dann nicht durch diplomatische Konferenzen, sondern durch einen Kampf der Wellen im Reich der Lüfte ausgefochten werden.

Wenn Sie mir bis hierher mit ihrer freundlichen Aufmerksamkeit gefolgt sind, wird mit Sicherheit eine Frage auf Ihre Lippen treten. Die durch den Raum dahineilenden magnetischen Wellen übertragen unzweifelhaft eine Arbeitsleistung, denn die Wirkung, die an der Empfangsstation sich

Digitized by Google

im Ticken eines Schreibhebels, in dem Rauschen eines Telephons bemerkbar macht, läßt sich in den millionsten Teilen einer Pferdestärke beziffern. Wird es möglich sein, auch größere Arbeitskräfte mit den magnetischen Wellen nach entfernten Stellen des Erdballs zu übertragen? Dieser Gedanke ist ungemein bestrickend und das Gelingen des Planes würde eine Umwälzung in unsern Kulturmitteln hervorrufen, wie sie die glänzendsten Erfindungen des vergangenen Jahrhunderts nicht zur Folge hatten. Der Ingenieur ist gewohnt, eine vorgelegte Frage nicht von vornherein mit einem absoluten Nein zu beantworten, doch können wir eines mit Sicherheit sagen: sollte das Problem jemals der Erfüllung entgegenreifen, dann müßten wohl noch andere Gesetze zu unserer Kenntnis gelangen, über welche die Natur bisher noch dreifache Schleier breitet.

Es ist aber von Interesse, zu erforschen, wie weit es gelingt, mit unseren bisherigen Kenntnissen die Aufgabe praktisch zu lösen. So weit die beschränkten Mittel und die Räume eines Laboratoriums es ermöglichen, habe ich die Frage zu beantworten gesucht. In zielbewußter Ausnutzung aller Gesetze, welche das Studium der Funkentelegraphie erschlossen hat, habe ich versucht, eine nennenswerte, in ihren Wirkungen deutlich erkennbare Arbeitsleistung von der hintern Wand dieses Saales bis auf den vordern Tisch drahtlos zu übertragen. Zwischen Drähten, welche Sie hinten erblicken, und den Drahtharfen hier vorne, 9 m entfernt, besteht nicht die geringste metallische Verbindung, dennoch gelingt es, durch Erzeugung starker elektrischer Schwingungen mit Hilfe der Resonanz hier vorn eine elektrische Glühlampe zum vollen Leuchten zu bringen. (Fig. 151.) Um Mißverständnissen vorzubeugen, will ich ausdrücklich darauf hinweisen, daß dieser Versuch nicht verwechselt werden darf mit dem

Digitized by Google

vorher angestellten Zünden einer Bogenlampe. Während ich dort die minimalen Impulse nur dazu benutzte, um eine bereitstehende Arbeitsquelle, eine Batterie, auszulösen und ihren Strom durch eine Lampe zu schicken, werde ich bei dem jetzt folgenden Experimente die gesamte elektrische Arbeit,

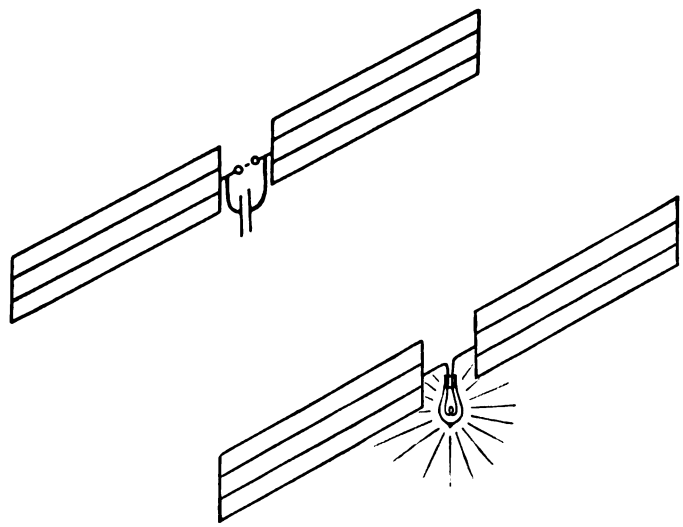


Fig 151.

welche die Lampe zum Leuchten bringt, lediglich den heranwogenden magnetischen Wellen entziehen.

Über die Zukunft wollen wir uns aber keinerlei Optimismus hingeben. Sie werden dies sofort begreifen, wenn ich Ihnen sage, daß die Arbeitskraft, welche ich dort hinten in Schwingung umsetzte, 3 Pferdestärken beträgt und daß das Resultat hier vorne sich darstellt in der bescheidenen Leistung von 1 300 Pferdestärken, also etwa dem 1000sten Teil.

Doch: In magnis voluisse sat est.

Digitized by Google

10.

Drahtloses Fernsprechen.

Von allen Erfindungen des elektrischen Zeitalters erscheint das Telephon als eine der merkwürdigsten. Es betätigt zwei wesentliche Organe des Menschen, Stimme und Ohr, an dem elektrischen Kreislauf und verkettet dadurch sein geistiges Leben mit den Kräften der Natur. Wenn uns heut, 100 Meilen entfernt, die Stimmen aus der Heimat ins Ohr tönen, so denken wir kaum noch daran, daß es die Wirkung einer dünnen Eisenmembran ist, die von elektrischen Schwingungen erregt, mit den Modulationen der Töne auch die Schwingungen einer Menschenseele uns zuträgt.

In dem Kopfe eines bescheidenen Lehrers einer Knabenschule bei Frankfurt a. M., Philipp Reis, war der geniale Gedanke entsprungen, aber erst auf dem Umwege über Amerika kam er nach Deutschland zurück, um als die Erfindung Graham Bells in seiner vollen praktischen Bedeutung erkannt zu werden.

Die Wirkung des Telephons erschien damals fast wie ein Wunder, heut ist sie uns leichter begreiflich, nachdem wir inzwischen erkannt haben, daß zahlreiche physiologische Erscheinungen auf das Wirken kleinster elektrischer Kräfte zurückzuführen sind. Dabei verschwindet sogar mancher Unter-

Digitized by Google

schied zwischen dem Menschen und den organisch belebten Schöpfungen der Pflanzenwelt.

Berühren wir z. B. ein frischgepflücktes grünes Blatt an seiner oberen, dem Sonnenlicht ausgesetzt gewesenen und zugleich an seiner unteren Schattenseite mit den Zuleitungen eines hochempfindlichen Galvanometers, so zeigt uns das Schwingen der Magnetnadel, daß in den Adern des grünen Blattgewebes elektrische Ströme fluten wie in dem Kabelnetz einer elektrisch beleuchteten Stadt, nur in Millionen Mal geringerer Stärke. Eine Berührung des Blattes mit der Hand, eine Verdrehung gegen seinen Stiel ruft am Galvanometer sichtbare Veränderungen dieser Ströme hervor; ein Betupfen mit Chloroform lähmt sie sofort, das Benetzen mit Kaffee oder Tee hat stimulierende Wirkungen. Bei häufiger Wiederholung eines Reizes tritt deutliche Ermüdung ein, genau so wie beim Menschen.

Verwandte Eigenschaften wie das sonnenbeschienene grüne Blatt zeigen auch einzelne Metalle, am deutlichsten das Selen, ein Element aus der Schwefelgruppe, welches Lichtempfindlichkeit besitzt. Bei Belichtung ändert das Selen seinen elektrischen Widerstand, den es dem Durchgang eines Stromes entgegensetzt. An diesem Demonstrationsapparat ist ein Selenstreifen in den Stromkreis einer galvanischen Batterie geschaltet. (Fig. 152.) Der Widerstand ist so groß, daß nur ein winziger Strom entstehen kann, der nicht ausreicht, eine in den Stromkreis geschaltete elektrische Klingel zum Läuten zu bringen. Sobald wir aber den Selenstreifen durch Entfernen einer lichtschützenden Kappe dem Tageslicht aussetzen, sinkt sein Widerstand, sodaß ein zur Erregung der Klingel ausreichender Strom den Kreis durchfliessen kann. Eine erneute Verdunkelung bringt sie sofort zum Schweigen.

Digitized by Google

Professor Korn hat auf diese Eigenschaft seine Fernphotographie gegründet.

Jeder elektrische Strom, und sei er noch so winzig, erregt den ganzen umgebenden Raum. Er ruft darin magnetische Kräfte hervor, die sich mit den elektrischen auf

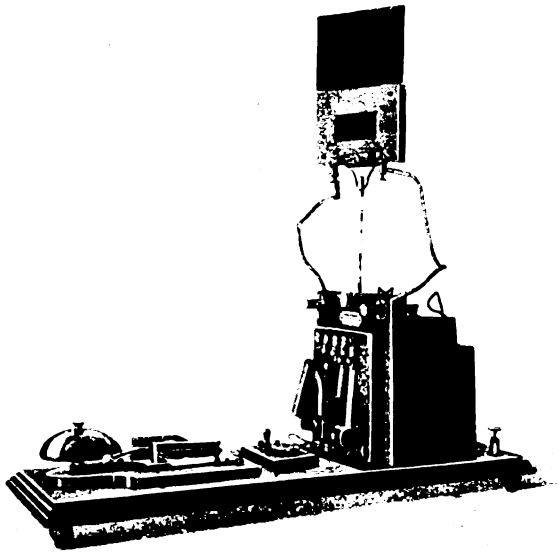


Fig. 152.

das innigste verketten, sodaß jede Änderung der einen die anderen sofort in Mitleidenschaft zieht. Ist im Raume Eisen vorhanden, so zeigt sich die Wechselwirkung zwischen den elektrischen und magnetischen Kräften besonders stark. Hier steht ein vom Strom zu erregender Elektromagnet, ein eiserner Kern, welchen die Strombahn in zahlreichen Windungen umschlingt; ich stülpe darüber eine Membran aus weichem unmagnetischen Eisen (Fig. 153), in einem Holzring befestigt. Durch die Nähe des Elektromagneten wird die

Digitized by Google

dünne Eisenplatte selber zu einem Magneten und zwar mit umgekehrter Polarität; dem Nordpol *N* gegenüber entsteht ein Südpol *S*. Ungleichnamige Pole ziehen sich an: die Membran, welche elastisch ist, wird etwas durchgedrückt — so minimal, daß wir es mit bloßen Augen nicht erkennen. Wir nehmen einen andern menschlichen Sinn noch zu Hülfe. Es ist klar, daß

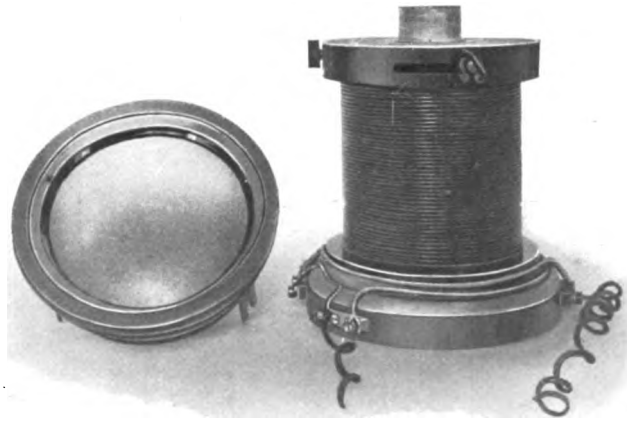


Fig. 153.

die Membran in die alte Lage zurückkehren muß, wenn wir die magnetische Spannkraft entfernen, indem wir den Elektromagneten stromlos machen. Kehren wir die Richtung des erregenden Stromes um, so wechseln wir damit die Polarität des Elektromagneten. Aus dem früheren Nordpol wird jetzt ein Südpol, die untere Seite der Membran ein Nordpol. Wiederum erfolgt eine geringe Durchbiegung. Nun wollen wir dies in gesetzmäßiger Folge wiederholen, indem wir den Elektromagneten mit einem Strom von wechselnder Richtung, einem sogenannten Wechselstrom, erregen. Die Membran kommt dadurch in Schwingungen, deren sekundliche Zahl

Digitized by Google

den Stromwechseln pro Sekunde entspricht. Die über der Membran ruhende Luftmasse gerät dadurch gleichfalls in gesetzmäßige Schwingungen, die sich ausbreiten, zu unserm Trommelfell gelangen und vermöge des Corti'schen Resonanzorgans die Empfindung eines Tones dem Gehirn übermitteln. Da wir 100 Stromwechsel in der Sekunde verwenden, hören wir einen Ton, der 100 Luftschwingungen in der Sekunde entspricht. Wir besitzen hierin also noch ein anderes Mittel, die Tonhöhe sicher festzustellen als unser subjektives Gehör.

Fig. 154.

Wir können den Ton aber auch sichtbar machen. Ich stülpe über die Membran noch eine Kapsel und schließe sie an die Gasleitung. Aus einer feinen Düse strömt dieses aus und verbrennt mit schwach leuchtender ruhiger Flamme. (Fig. 154). Sobald ich aber den Elektromagneten errege, tanzt sie infolge der Stromschwankungen im Rythmus der Schwingungen. Dies ist nur in der Nähe zu sehen. Betrachten wir aber das Bild der Flamme in einem rotierenden Spiegel (Fig. 155), so ziehen wir dasselbe zeitlich auseinander und sehen nun, weithin erkennbar, gleichsam die flammende Notenschrift des Tones.

Digitized by Google

Jedem Klange der menschlichen Sprache entspricht nun ein ganz bestimmtes Flammenbild, ihre Schwingungen also einem charakteristischen Gepräge.

Mit dem Phonographen können wir ähnliche Klangbilder erzeugen. Die Figur 156 zeigt uns den deutlich ausgesprochenen Schwingungscharakter der Vokale.

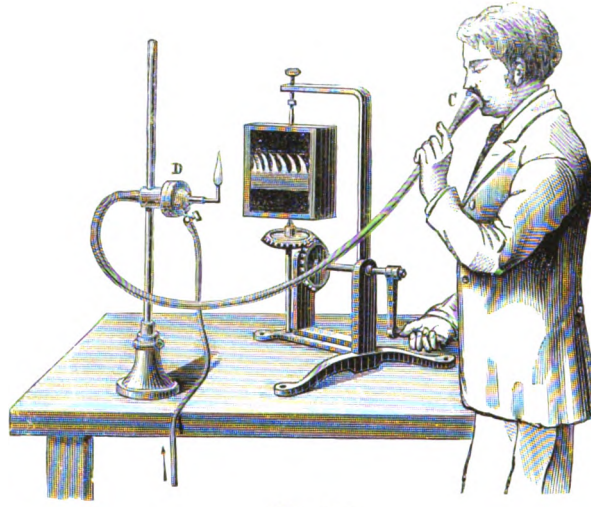


Fig. 155.

Die hohe Empfindlichkeit der elektromagnetischen Kräfte und unserer Sinnesorgane ermöglichen nun die Auf- und Annahme dieses Gepräges und erklären damit die Wirkungsweise des Telephons.

Bei der Aufnahme der Schallschwingungen der Sprache bedienen wir uns einer Umkehrung des angestellten Experiments. Wir sprechen gegen eine federnde Eisenmembran, sie folgt mit ihren Schwingungen den Modulationen unserer Stimme in rein mechanischer Weise. Dahinter befindet sich ein permanenter Stahlmagnet mit isoliertem Draht umwickelt. Die Schwingungen der Eisenmembran beeinflussen nun die magnetische Kraft des Stabes, indem sie dieselbe abwechselnd verstärken und schwächen. Nach dem Prinzip der Dualität, das alle Naturerscheinungen beherrscht, wird aber nicht bloß,

Digitized by Google

wie vorhin erörtert, durch elektrische Stromschwingungen im Eisen eine wechselnde magnetische Kraft erzeugt, sondern auch umgekehrt erzeugt eine wechselnde oder pulsierende magnetische Kraft in Drahtwindungen einen schwingenden oder vibrierenden Strom. Diesen leiten wir durch einen verbindenden Draht zum Empfangsort und erzeugen dort (Fig. 157), indem wir den Draht in vielen Windungen um einen eisernen Kern herumführen, pulsierende magnetische Kräfte, die, wie unser Versuch gezeigt, die Schallmembran in Schwingung versetzen. Die Rückleitung der Ströme erfolgt entweder durch die Erde oder, will man Störungen vermeiden,

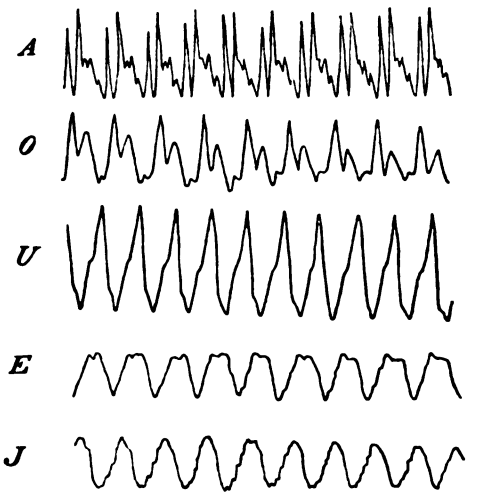


Fig. 156.

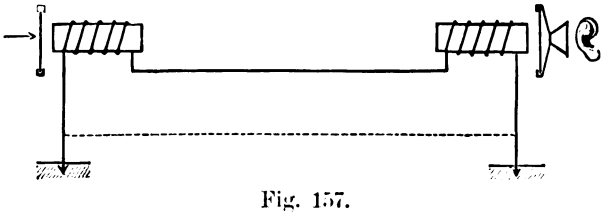


Fig. 157.

durch eine zweite Leitung. Es ist ein Prozeß von erstaunlicher Präzision und unübertrefflicher Einfachheit, da das gleiche Instrument zum Sprechen wie zum Hören geeignet und eine besondere Stromquelle nicht erforderlich ist.

Digitized by Google

Es sind ansehnliche, meilenweite Entfernungen, auf welche wir damit die Sprache übertragen können; die erzeugten Ströme sind aber minimal und da sie die metallische Leitung nicht ohne Verlust durchlaufen, da sie für die Benutzung des metallischen Weges gleichsam Chausseegeld in der Münze der Wärmeform zu zahlen haben, denn die Leitung erwärmt sich beim Durchgang der Ströme, so wird ihre Kraft dauernd geschwächt und wir können die Leitung nicht beliebig verlängern. Wir kommen schließlich an eine Grenze, wo die übertragenen Wirkungen zu einem kaum noch vernehmbaren Hauche ersterben. Die elektrischen Pulsationen treffen allzu müde und erschöpft am Ziele der Wanderung ein.

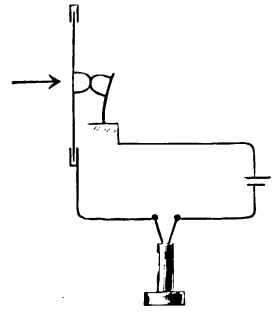


Fig. 158.

Eine zweite sinnreiche Erfindung, das Mikrophon, hat es nun ermöglicht, die Übertragung der Sprache durch einen Draht auf hundertmal größere Entfernung auszudehnen. Es ist aber kein Ersatz des Telephons, es dient nur als Sprech- oder Sendeapparat; als Hörapparat ist das Telephon nach wie vor unübertroffen.

Der Engländer Hughes machte diese schöne Erfindung beim Studium der Eigenschaften loser Kontakte. In den Stromkreis einer galvanischen Batterie schaltete er eines Tages zwei Stückchen poröser Kohle in loser Berührung. (Fig. 158.) Ein in den gleichen Stromkreis eingeschaltetes Telephon ließ kein Geräusch wahrnehmen, solange der lose Kohlenkontakt ohne jede mechanische Erschütterung verblieb, obwohl ein eingeschaltetes Galvanometer deutlich zeigte, daß durch den losen Kontakt ein Strom überging. Sehr begreiflich, denn der in gleichbleibender Richtung hindurchfließende Batteriestrom ist

Digitized by Google

dem Telephon gänzlich gleichgültig, da es ja nur auf Stromvibrationen reagiert. Jede Erschütterung des Kohlenkontaktes machte sich aber durch ein starkes Geräusch im Telephon bemerkbar. Das Ticken einer daneben gelegten Taschenuhr hörte sich an wie das Hämmern auf einen Amboß. (Fig. 159.)

Woher rührt diese merkwürdige Verstärkung des Tones? Lediglich von den mechanischen Erschütterungen, welche der

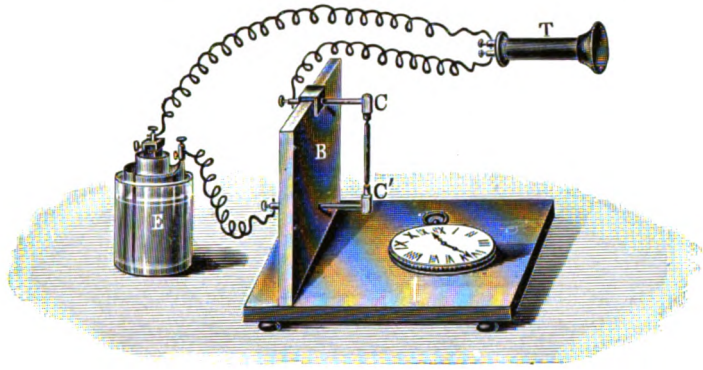


Fig. 159.

Kohlenkontakt erfährt. Dadurch ändert sich der Übergangswiderstand an der Berührungsstelle und versetzt den hindurchgeführten Gleichstrom in viel stärkere Vibrationen, als es die Schallschwingungen einer Telephonmembran vermögen. Die Batterie wirkt gleichsam wie ein Vorspann.

Die konstruktive Gestaltung des Mikrophons übertrifft das Telephon fast noch an Einfachheit. Auf der Rückseite einer Stahlmembran ist das eine der beiden Kohlenstückchen befestigt. Dagegen lehnt mit geringem Federdruck das zweite Kohlenstück. Die beim Sprechen gegen die Membran entstehenden Druckschwankungen erzeugen Stromvibrationen eines konstanten Gleichstroms und diese wirken auf das Telephon in der alten Weise, bloß intensiver.

Digitized by Google

Das Mikrophon ermöglicht den elektrischen Pulsationen eine weitere Reise durch Mitgabe stärkerer elektrischer Energie. Die zarten Schwingungen der Sprache werden auf einen stärkeren Strom übertragen, sie werden gleichsam auf ein Automobil gesetzt, auf dem sie unter Vermeidung des erschöpfenden Wanderfluges sicher zum Ziel getragen werden. Unser Bild muß schon ein Automobil vorsehen, denn die Reisegeschwindigkeit ist eine sehr große — 300 000 Kilometer in der Sekunde.

Von der erreichten Tonverstärkung soll uns ein Experiment überzeugen. In einem entfernten Raum dieses Gebäudes ist ein Mikrophon aufgestellt, hier ist das Empfangstelephon. Wir brauchen nicht mehr das Ohr dicht an die Schallöffnung zu bringen, wir hören die in das Mikrophon gesprochenen Worte jetzt deutlich im ganzen Saal. An Bord unserer Kriegsschiffe wird dieses laut sprechende Telephon benutzt, um mitten im Donner der Geschütze die Befehle sicher zu übertragen.

Das Telephon könnten wir zur Not auch entbehren und durch andere Mittel ersetzen, welche die aus dem Mikrophon stammenden Strompulsationen wieder in Schallschwingungen umsetzen, z. B. die Zuckungen einer Flamme.

Eine durch Gleichstrom gespeiste Bogenlampe steht vor Ihnen. (Fig. 160). In mächtiger Fülle durchströmt er die Leitungen und bildet beim Übergang zwischen den beiden Kohlenstäben den lichtspendenden Flammenbogen. Diesen Strom störe ich, wenn ich die Schwingungen eines Mikrophonstromes darüber lagere. Die breite Flut des Gleichstroms erfährt dadurch zitternde Schwankungen, es ist, als ob die feine Flaumfeder eines Vogels auf die stille Wasserfläche eines Teiches gefallen wäre. In der Flamme des Lichtbogens tritt diese leichte Kräuselung zu Tage. Die fast unmerklichen Schwingungen des Stromes bewirken Zuckungen der Flamme und die dadurch

Digitized by Google

hervorgerufene Erzitterung der Luft trägt sie als Töne in unser Ohr.

Erstaunlich ist die Gesetzmäßigkeit, mit welcher sich die Paarung der in ihrer Größe so unendlich verschiedenen elektrischen Kräfte vollzieht. Über die Bedeutung des Mikrophon-Telephons für unser gesamtes heutiges Leben brauche ich kein Wort zu verlieren. Man denke sich dasselbe wieder aus unserer Kultur entfernt — welch schwere Lücke würden wir empfinden! Wir würden es aber wahrscheinlich bald durch andere vielleicht noch bessere Erfindungen ersetzen.

Fig. 160.

Indessen auch ohne dringendes Bedürfnis ist der mensch-

Digitized by Google

liche Erfindungstrieb ruhelos. Kaum hatte die drahtlose Telegraphie ihre ersten Triumphe gefeiert, da erwog man schon die Möglichkeit einer drahtlosen Telephonie.

Die Erzeugung von elektrischen Schwingungen des Äthers direkt durch die menschliche Stimme, Schwingungen, welche alle Modulationen derselben getreulich annehmen und wiedergeben, erwies sich als aussichtslos. Die in den Schallschwingungen zur Verfügung stehende Energie ist dafür nicht ausreichend. Bei der Telephonie mit Leitungsdraht bildet der Draht gleichsam eine Rinne, in welcher die elektrischen Schwingungen zusammengehalten und mit geringem Verlust bis an die Aufnahmestelle getragen werden. Bei drahtloser elektrischer Übertragung verteilt sich dagegen die erzeugte Schwingungsenergie durch den ganzen Raum und nur die gewaltige Stoßwirkung einer Funkenentladung, mit welcher der Schwingungsdraht den ganzen Ätherraum explosionsartig erschüttert, läßt bei der heutigen drahtlosen Funkentelegraphie in dem überaus empfindlichen Fritterpulver geringe Spuren dieser Erschütterung erkennen, ähnlich wie die seismographischen Apparate der Erdbebenforschung einen Stoß gegen die feste Rinde der Erde in tausend Meilen weiter Entfernung durch geringe Erschütterung einer Quecksilberoberfläche oder das Schwanken eines Pendels zur Wahrnehmung bringen.

Die Mikrophon-Telephonie gab aber einen Fingerzeig zur Lösung der Aufgabe. Man mußte ein Vehikel schaffen, dem die elektrisch umgewandelten Tonschwingungen des Mikrophons aufgelagert werden konnten. Gelang es, mit starken elektrischen Kräften andauernde Ätherschwingungen von größter Tragweite zu erzeugen, so erschien es wohl möglich, diesen Schwingungen die feinen charakteristischen Merkmale der Mikrophonschwingungen aufzuprägen und diese am Empfangsort mit Hülfe eines empfindlichen Telephons zu erkennen.

Digitized by Google

Eine Unvollkommenheit des menschlichen Ohres kommt der Ausführung dieses Planes zu Hülfe. Schallschwingungen von großer Schnelligkeit vermag das Trommelfell nicht mehr zu registrieren und an das Gehirn weiter zu telegraphieren. 40 000 Schwingungen in einer Sekunde bilden die äußerste Grenze. Die Nerven des Ohres sind allzu träge. Ähnlich ist es mit dem Auge; die überaus schnellen Schwingungen des ultravioletten Lichtes nimmt der Sehnerv nicht mehr wahr. Die Grenze ist hier bei 800 Billionen Schwingungen des Äthers in der Sekunde erreicht. 40 000 Schwingungen der Luft lassen für uns die Welt verstummen, 800 Billionen Ätherschwingungen tauchen sie in Dunkelheit. Wie viel empfindlicher ist daher das Auge des Menschen im Vergleich zum Ohr! Und doch hat das Ohr eine Begabung anderer Art, die dem Auge fehlt. Aus dem Tongewirr eines Orchesters vernehmen wir deutlich die eigenartigen Klangfarben der Violinen, der Flöten und Pauken. Das Ohr hat also die Fähigkeit, zusammengesetzte Töne zu analysieren. Die vielfarbigen Strahlen des Sonnenlichts dagegen vermag das Auge nicht wahrzunehmen, erst durch das Hülfsmittel des Prismas gelingt die Zerlegung.

Fig. 161.

Betrachten wir nun die Ätherschwingungen, welche die Funkentelegraphie verwendet. Wir laden dabei einen isoliert aufgehängten Draht, der an seinem unteren Ende eine kleine Metallkugel trägt, mit Elektrizität. (Fig. 161.) In geringem Abstande von dieser ersten Kugel befindet sich eine zweite, die mit der Erde verbunden ist. Erreicht die elektrische Spannung eine bestimmte Höhe, so erfolgt eine Entladung des Drahtes zur Erde. Es ist ähnlich wie bei einem völlig geschlossenen Wasserschlauch, den wir mit Druckwasser füllen. Bei Überschreitung eines gewissen Druckes platzt

Digitized by Google

derselbe und das Wasser spritzt gegen die Erde aus. Der elektrische Draht platzt hier unten und spritzt die Ladung an den Funkenkugeln aus, sobald die Spannkraft der Elektrizität eine bestimmte Größe erreicht hat. Die Entladung ist von einer Funkenerscheinung begleitet, deren intensives Licht von mitgerissenen glühenden Metallfetzen und Dämpfen herrührt.

Die sich entladende Elektrizität hat aber eine elastische Eigenschaft. Lösen wir eine gespannte Feder, so schießt sie stets über die Ruhelage hinaus, sie pendelt hin und her und kommt erst nach einigen Schwingungen zur Ruhe. So pendelt auch der Entladungsstrom hin und her; er schießt aus dem Draht in die Erde und wieder zurück in den Draht. Die auf- und niederzuckenden Ströme rufen in dem umgebenden Raum pulsierende magnetische Kräfte hervor, die sich in Wellenringen durch den Raum verbreiten und, wenn sie einen abgestimmten Empfangsdraht treffen, in diesem wiederum pulsierende Ströme erzeugen. Jede Entladung ruft also eine Reihe von Schwingungen hervor, die ungeheuer schnell verlaufen, in 1 Millionstel Sekunde eine Schwingung, aber fast ebenso schnell abklingen. (Fig. 162.) Sie sind gedämpft, wie man es technisch bezeichnet, ähnlich wie die Schwingungen einer ausgelösten gespannten Feder. Höchstens 10 von solchen Schwingungen können wir nutzbar machen, ihre Zeitdauer umfaßt also nur 1 Hunderttausendstel Sekunde. Die Eigenart der Luftfunkenstrecke gestattet nun nicht, eine neue Ladung des Drahtes unmittelbar darauf folgen zu lassen. Es vergeht etwa 1/20 Sekunde, ehe eine Neuladung des Drahtes möglich wird. Dies hängt damit zusammen, daß die Funkenstrecke

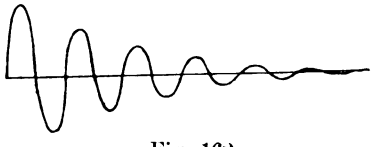


Fig. 162.

Digitized by Google

auch nach dem Abklingen der Schwingungen wegen der hocherhitzten Gase nicht sofort ihre Leitfähigkeit verliert, was aber notwendig ist, um eine neue Ladung aufzunehmen. Gehen wir zu dem Bilde mit dem Wasserschlauch zurück, so wäre dies mit dem Umstande zu vergleichen, daß der geplatzte Schlauch nicht sofort wieder abzudichten ist. Auf jeden Entladungsvorgang, der ein Hunderttausendstel Sekunde in Anspruch nimmt, folgt eine Pause von 5 Hundertstel Sekunde, ehe der Draht wieder elektrisch dicht ist. Diese

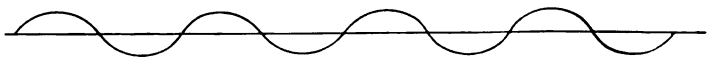


Fig. 163.

Zeiten verhalten sich wie 1 : 5000. Mit einer gewöhnlichen Luftfunkenstrecke ist eine schnellere Ladungsfolge nicht möglich. Sie ist einem Arbeiter vergleichbar, der eine Stunde lang Schwingungen erzeugt und sich 200 Tage von dieser anstrengenden Arbeit ausruht.

Könnten wir dagegen ununterbrochen fortlaufende Schwingungen hervorrufen (Fig. 163), so würden wir unvergleichlich viel mehr damit leisten, selbst wenn die einzelnen Schwingungen von wesentlich geringerer Intensität wären.

Das große wissenschaftliche Ereignis des letzten Jahres ist nun die technische Lösung dieses Problems und damit auch dasjenige der drahtlosen Telephonie. Neue und überraschende Hilfsmittel finden dabei Verwendung. Wer vor 30 Jahren, als das elektrische Bogenlicht seine herrliche Leuchtkraft zu allgemeiner Verwendung entfaltete, behauptet hätte, daß wir dereinst mit seiner Hilfe über den Erdball rufen würden, den hätten wir sicherlich als gestört betrachtet — jetzt ist es Ereignis.

Digitized by Google

Die Erfindung hat eine interessante Vorgeschichte. Vor einigen Jahren glückte dem Engländer Duddell das Experiment, aus einem mit stetigem Gleichstrom erzeugten Lichtbogen einen pulsierenden Wechselstrom abzuleiten. Er zweigte von den Polen einer Bogenlampe einen Stromkreis ab, der außer einem sogenannten induktiven Widerstand L eine Leydener Flasche C (Fig. 164) enthielt.

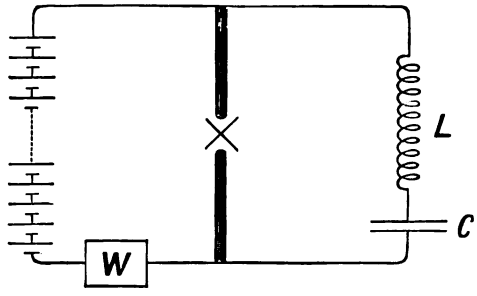


Fig. 164.

Als induktiven Widerstand bezeichnet man das Hindernis, welches ein Wechselstrom beim Passieren eines Drahtes sich selber schafft. Wickelt man den Draht zu einer Spule, so verstärkt sich das Hindernis und wird wesentlich größer als für den ausgestreckten Draht von gleicher Länge. Der sonstige Widerstand des Drahtes, soweit er durch das Material bedingt ist, spielt demgegenüber bei hoher Frequenz des Wechselstroms nur noch eine untergeordnete Rolle. Der Wechselstrom wird gezwungen, in kreisförmiger Bahn fortzuschreiten und empfindet diese fortwährende Ablenkung aus dem geraden Wege wie einen vermehrten Widerstand.

Die Leydener Flasche ist der bekannte Ansammlungsapparat für Elektrizität. Durch den Anschluß derselben an die eine Kohle des Lichtbogens wird sie geladen und, da durch den leitenden Lichtbogen hindurch eine Verbindung mit der anderen Belegung der Flasche hergestellt ist, so kann sie sich sofort wieder entladen. Die Flasche wirkt dabei wie eine Feder, die übertragene Ladung pendelt wieder zurück und erfüllt den angeschlossenen Kreis mit einem

Digitized by Google

oscillierenden Strom. So lange am Lichtbogen Gleichstrom übertritt, kann dieser Vorgang sich in ununterbrochener Folge wiederholen, wir erhalten einen dauernden und deshalb ungedämpften Wechselstrom, ähnlich wie wir ihn durch Maschinen erzeugen.

Der Vorgang wird verständlicher werden, wenn wir andere ähnliche und wohlbekannte Naturerscheinungen heranziehen. Zupfen wir eine Violinsaite, so hören wir einen Ton, der schnell verklingt. Die Schwingungen der Saite werden durch Bewegungswiderstände gedämpft. Streichen wir dagegen mit einem Violinbogen darüber hin, so wirkt die Reibung desselben wie ein ununterbrochen wiederholtes Zupfen, wir hören einen andauernden ungedämpften Ton. Ferner: Der Luftstrom, mit dem wir eine Zungenpfeife anblasen, setzt die federnde Zunge fortdauernd in schwingende Bewegung und erzeugt ununterbrochene Schwingungen der Luftsäule. Der einmalige Anstoß einer Schaukel erzeugt Schwingungen, die bald aufhören. Häufig wiederholte Stöße ermöglichen erst das wahre Vergnügen durch das angenehme Gefühl der dauernden rhythmischen Bewegung. Ebenso ist es bei der Uhr: das Pendel ohne Gewicht oder Feder würde bald zur Ruhe kommen, erst die Stöße des schwingenden Ankers auf das Steigrad ermöglichen dauernde Oscillationen. So könnte ich die Beispiele beliebig häufen; es ist nachher leicht, zu sagen, wo Barthel Most hätte holen können, tatsächlich hat ihn aber der blinde Zufall geleitet.

Das Interesse konzentrierte sich bei der Erfindung Duddells zunächst auch nicht auf die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, sondern auf eine niedliche Spielerei, die dadurch ermöglicht wurde. Die im Nebenkreise erzeugten Stromschwingungen lagern sich in dem Lichtbogen über den Gleichstrom und bringen dadurch die Flamme desselben in

Digitized by Google

rhythmisches Zucken, welches in der Luft Schallschwingungen erzeugt, ähnlich wie bei dem vorhin betrachteten Flammentelephon. Wir hören ein deutliches Pfeifen. Die sekundliche Zahl der Schwingungen und damit die Tonhöhe hängt von der Größe der Leydener Flasche und dem induktiven Widerstand

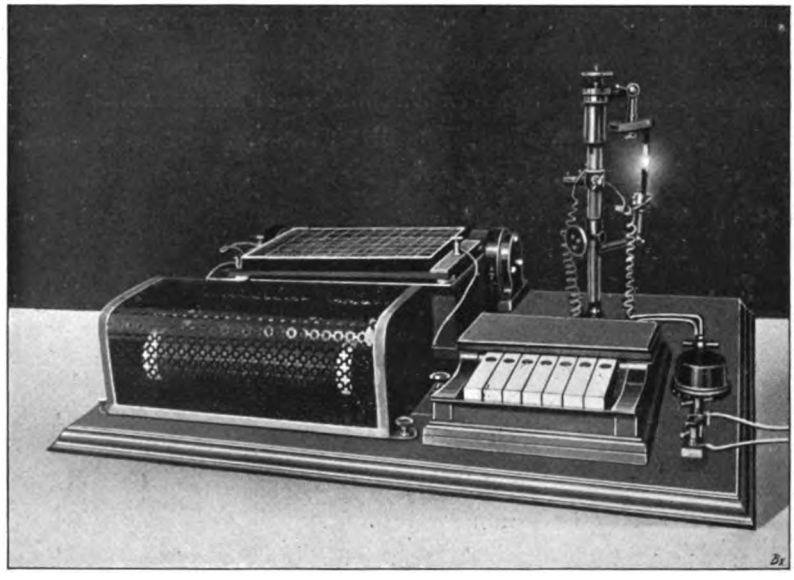


Fig. 165.

ab. Ich habe ein instruktives Spielzeug daraus gemacht, ein Musikinstrument, mit allerdings fragwürdigem Kunstgenuß. Durch eine Tastatur werden induktive Widerstände von verschiedener Größe eingeschaltet, so daß ich damit Melodien spielen kann. (Fig. 165.)

Die Erfindung ist sehr merkwürdig. Bei dem soeben angestellten Versuch speisten wir die Bogenlampe von einer besonderen Batterie. Wir wollen sie jetzt in einem Nebenzimmer an die elektrische Lichtleitung des Hauses schließen,

Digitized by Google

welche die Beleuchtung dieses Saales bewirkt. Alle Bogenlampen, welche angeschlossen sind, pfeifen uns dann das gleiche Lied. Sämtliche Säle dieses weiten Hauses werden jetzt von Musik erfüllt. Es gab keinen geringen Aufruhr in den Zeichensälen und Auditorien, als ich dieses Experiment zum ersten Male anstellte und alle Bogenlampen anfingen, ein Lied zu pfeifen. Ein Spaßvogel erlaubte sich in meiner Abwesenheit einen höchst unpassenden Scherz. In dem Hörsaal über uns fand eine Damenvorlesung statt über moderne Kunst. Mitten in weihevoller Stimmung pfiffen plötzlich alle Bogenlampen einen lustigen Gassenhauer. Es fand eine Disziplinaruntersuchung statt, die leider nicht zur Ermittlung des Schuldigen führte.

Nichts lag nun näher als der Gedanke, die so erzeugten ungedämpften Schwingungen für die Funkentelegraphie zu verwerten. Man hatte ja nur mit dem Schwingungskreise einen abgestimmten Vertikaldraht zu verbinden und konnte dann den Raum in ungedämpfte elektromagnetische Vibrationen versetzen. Die an der Ausbildung der Funkentelegraphie beteiligten Forscher haben es an Fleiß und Mühe nicht fehlen lassen. Aber die Sache scheiterte zunächst an einem scheinbar geringfügigen Umstand: Die für die Fernwirkung unbedingt erforderliche Schnelligkeit der Schwingungen ließ sich nicht erreichen. Die Pfeiftöne, welche wir gehört haben, entsprechen wenig Tausend Schwingungen in der Sekunde, die Begehrlichkeit des Funkentelegraphentechnikers richtete sich auf eine Million.

Ein dänischer Ingenieur, Waldemar Poulsen, war es, dem es gelang, in diesem Wettstreit durch eine überraschend einfache Erfindung zuerst den hohen Ton zu erreichen, der, akustisch zwar nicht mehr wahrnehmbar, den Elektriker aber ebenso entzückte wie den Musikenthusiasten das dreige-

Digitized by Google

strichene C des gefeierten Heldentenors. Er wurde der Sieger in dem neuen Sängerstreit, indem er den Lichtbogen nicht in der Luftatmosphäre, sondern in einer mit Wasserstoff erfüllten Kammer brennen ließ. Dies einfache Mittel ergab die Möglichkeit, die Schwingungen auf die erforderliche Tonhöhe zu stimmen.

In Deutschland begnügte man sich nicht mit der Kenntnisnahme der bloßen Tatsache, man forschte nach dem Warum und Weshalb. Und bald war es erkannt: Die Begründung lag in der großen Wärmeleitungsfähigkeit des Wasserstoffs gegenüber der Luft. Dem heißen elektrischen Lichtbogen mußte intensiv Wärme entzogen werden. Hundert andere Kühlmethoden wurden schnell erprobt und nach wenigen Wochen schon konnte die deutsche Gesellschaft für drahtlose Telegraphie dem Berliner Funkentelegraphen-Kongreß eine andere Lösung des Problems in Nauen vorführen. Dieses Mittel, nicht das Poulsen'sche, steht bei den heut vorzuführenden Versuchen in Verwendung.

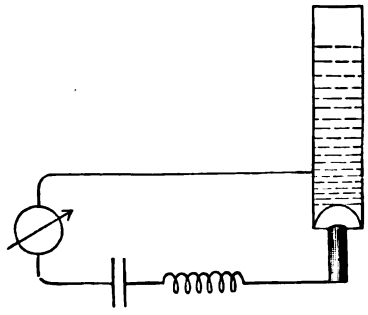


Fig. 166.

Eine kleine Skizze soll es erläutern. (Fig. 166.) Die Kohle ist ein schlechter Wärmeleiter, der obere Kohlenstab wurde deshalb ersetzt durch Kupfer, und zwar, um eine intensive Wasserkühlung zu ermöglichen, in der Form eines offenen mit Wasser gefüllten Zylinders mit gewölbtem Boden. Selten sind durchschlagende Verbesserungen mit einfacheren Mitteln erzielt worden. Zur Verwendung größerer Spannungen sind 6 solcher Lichtbogen hintereinder geschaltet, die durch Drücken auf eine Feder zugleich in

Digitized by Google

Wirkung treten. (Fig. 167.) Das eingeschaltete Instrument (Fig. 166) zeigt uns die schnellen Schwingungen in dem durch die mächtige Leydener Flaschenbatterie und eine Drahtspule geschlossenen Kreise an. Wir hören nicht mehr das betäubende Geknatter, das mit der früheren Erzeugung der schnellen Schwingungen durch die Luftfunkenstrecke ver-

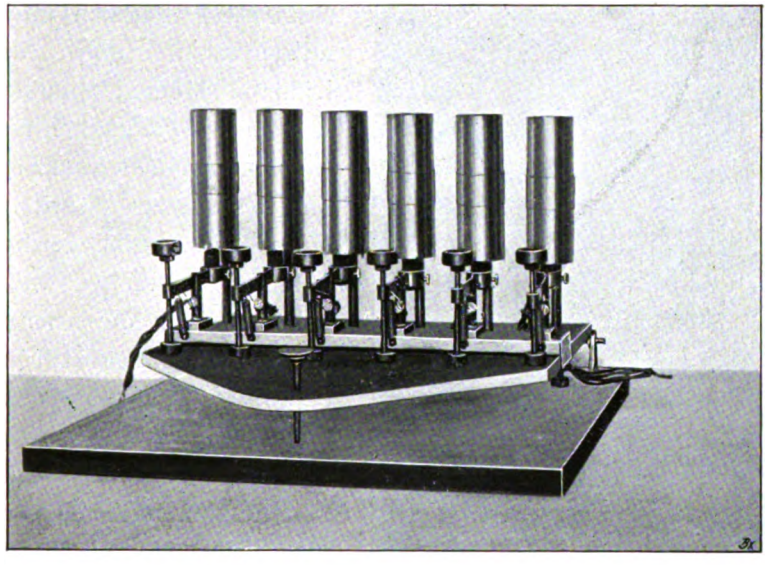


Fig. 167.

bunden war, nur ein leises surrendes Geräusch verrät die unermüdliche Tätigkeit der Lichtbogen. Sie erzeugen 150 000 Schwingungen in der Sekunde; dies entspricht einer Wellenlänge von 2200 m, mit der wir noch gut telegraphieren können.

Wir könnten damit dieselben Effekte erzielen, die wir mit gedämpften Funkenwellen unter Benutzung der Resonanz hervorgerufen haben. Sie fallen aber nicht mehr so impo-

Digitized by Google

nierend in die Augen. Als ich damals eine abgestimmte Drahtspule an den Schwingungskreis schloß, sahen wir meterlange Funkenblitze, die aus dem freien Ende der Spule mit ohrenbetäubendem Geknatter hervorschossen. Jetzt sehen wir nur eine kleine sprühende Flamme. (Fig. 168.) Bei den intermittierenden Stößen der früheren Methode mußten wir starke Spannungen verwenden, um den Raum explosionsartig zu erschüttern. Hier sind es nur geringe Spannungen, die wir wahrnehmen, aber die Energie der Schwingungen ist trotzdem nicht geringer, denn die Anzahl der Schwingungen, die wir in gleicher Zeit nutzbar aussenden, ist viele Tausend mal größer. Statt des Donners einer Kanone, die nur in Pausen die Luft erschüttert, haben wir hier das ununterbrochene Knarren der Maschinengewehre.

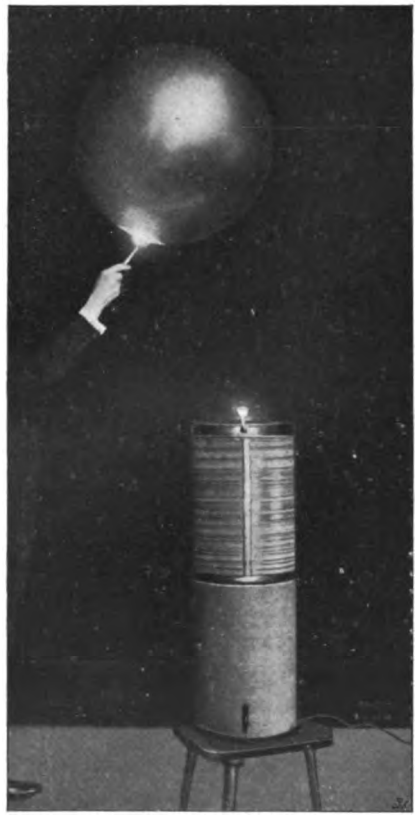


Fig. 168.

Von der großen Energie aber, die den ungedämpften Schwingungen selbst bei geringer Spannung inne wohnt, sollen uns einige Versuche überzeugen. Von dem strahlenden Büschel dieser Spule, so unscheinbar es aussieht, geht eine

Digitized by Google

überraschende Wirkung aus. Es ladet alle in der Nähe befindlichen Leiter mit hochgespannter Elektrizität und ich brauche der in einiger Entfernung über der Spule isoliert aufgehängten großen Messingkugel (Fig. 168) nur einen Metallstab zu nähern, und Sie sehen einen helleuchtenden Lichtbogen. Diese Kugel nimmt also so energisch Elektrizität auf, daß sie nunmehr imstande ist, dieselbe kontinuierlich abzugeben. Leider ist diese ideale Art der Elektrizitätsentnahme an zwei große Unannehmlichkeiten geknüpft. Die eine ist, daß der Abstand zwischen der ladenden Spule und dem geladenen Gegenstand nicht allzu groß sein darf, wenn ein nennenswerter Effekt erzielt werden soll, und die andere bezieht sich auf die Gefahr, die damit verbunden ist, wenn man mit bloßen Händen an einen in dieser Weise geladenen Metallgegenstand faßt. Man trägt nämlich sofort eiternde Brandwunden davon, die sehr unangenehm sind. Auch ist hier Gefahr vorhanden, daß in der Nähe befindliche brennbare Gegenstände in Flammen geraten, denn die Büschelentladung der Spule, ebenso wie der Lichtbogen bei der Entladung nach einem Leiter, sind mit großer Hitzeentwicklung verbunden. Dagegen verspürt man bei Benutzung eines Metallstabes nicht das Geringste, auch wenn man seine eigene Person an die Stelle der vorhin verwendeten Kugel bringt und sich selbst an deren Stelle laden läßt. Jetzt entsteht, wie Sie sehen, ein Lichtbogen zwischen mir und meinem Diener, der in etwas größerer Entfernung von der Spule steht und darum weniger stark geladen wird. (Fig. 169.)

Es ist klar, daß man mit diesen ungedämpften Schwingungen ebenso telegraphieren kann wie mit den gedämpften, welche wir bisher durch eine Luftfunkenstrecke erzeugten: wir haben nur nötig, mit dem Kondensator einen Luftdraht

Digitized by Google

zu verbinden und diesen auf die Wellenlänge des Kreises abzustimmen. Die Vorteile, welche die Verwendung ungedämpfter Schwingungen besonders wegen der erhöhten Abstimmungsfähigkeit für die drahtlose Telegraphie mit sich bringen mußte, waren jedem Fachmann einleuchtend; ein wahrer Enthusiasmus bemächtigte sich der beteiligten Kreise und man fand es ganz begreiflich, daß Lord Armstrong in

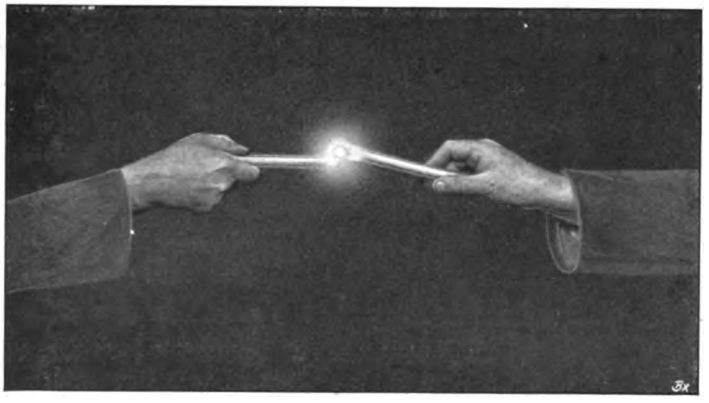


Fig. 169.

England das Poulsen'sche Wasserstoffpatent für mehrere Millionen Mark erwarb. Seitdem ist ein halbes Jahr vergangen und noch ist an keinem Orte der Erde die Telegraphie mit ungedämpften Wellen in dauernden praktischen Betrieb genommen. Woran liegt dies? Sorgfältige Studien haben uns gezeigt, daß der Enthusiasmus für die ungedämpfte Wellentelegraphie etwas verfrüht war, denn es haften derselben zwei Unvollkommenheiten an, die bis jetzt noch nicht überwunden werden konnten. Zunächst ist es nicht möglich, mit dem Lichtbogen Schwingungen von dauernd konstanter Wellenlänge zu erzeugen. Die Verhältnisse am Lichtbogen

Digitized by Google

sind schwankender Natur. Der ungleiche Abbrand der Kohlen, wegen mangelnder Homogenität derselben, geringe Unregelmäßigkeiten in dem konstanten Gleichstrom, der den Bogen speist, bedingen einen Wechsel in der Wellenlänge der erzeugten Schwingungen. Zwar beträgt er nur wenige Prozent, reicht aber aus, um die Vorteile, welche das Ungedämpftsein für die Abstimmung mit sich bringt, wieder illusorisch zu machen, so daß die erreichte Genauigkeit der Abstimmung nicht größer wird, als bei der bisher üblichen Funkentelegraphie.

Dazu kommt ein zweiter Übelstand, welcher die Telegraphie mit ungedämpften Wellen den gedämpften Funkenwellen gegenüber den Stempel der Minderwertigkeit aufdrückt. Es ist bisher noch nicht gelungen, mit denselben Schreibapparate zu betätigen, man kann die Morsezeichen nur mit dem Telephon abhören. Bei der Verwendung in der Marine und in der Armee ist das selbsttätige Niederschreiben der Telegramme schon der Kontrolle wegen nicht zu umgehen. Zur Zeit sind die Aussichten für die praktische Verwendung der ungedämpften Wellen deshalb noch wenig günstig. Der anfängliche Enthusiasmus über die ungedämpften Wellen hat eine unerwartete Dämpfung erfahren.

Dies gilt aber nur für die Telegraphie mit Morsezeichen. Ihre Bedeutung für die drahtlose Telephonie bleibt unverändert bestehen. Der fortlaufende ungedämpfte Wellenzug der schnellen Schwingungen mit großer Reichweite bietet ein vollendetes Mittel, übergelagerte Mikrophonschwingungen sicher mit fortzutragen. Die ungedämpften Wellen, die ohne Drahtleitung den Raum durcheilen, treten an die Stelle des Gleichstroms der Drahttelephonie als Träger der Lautschwingungen. Könnten wir mit geistigen Augen den Raum durchdringen, so würden wir in dem gleichmäßigen Wellenzug der ungedämpften Schwingungen gewisse An- und

Digitized by Google

Abschwellungen erkennen, die von den aufgedrückten Mikrophonschwingungen herrühren und in ihrer zeitlichen Folge und Intensität den feinsten Modulationen der Sprache, wie sie das Mikrophon vermittelt, entsprechen. (Fig. 170). Verbinden wir mit dem Empfangsdraht in geeigneter Weise ein Telephon, so muß die Schallmembran all diese Schwankungen mitmachen. Für die schnellen tragenden Schwingungen ist das Ohr unempfindlich, die langsamen Schwellungen nimmt es dagegen im richtigen Zeitmaß auf und vermittelt uns damit die menschliche Sprache mit all ihren Feinheiten.

Fig. 170.

Dieser Tisch (Fig. 171a und 171b), den die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie zusammenstellte, ist eine Station zum Fernsprechen ohne Draht. Sie sehen auf demselben 12 der vorhin erwähnten wassergekühlten Lichtbogen, die durch Anschluß an das Netz zum Brennen kommen. Die unten befindlichen Widerstände (auf Fig. 172a, welche die Schaltung des Senders zeigt, D_1 und D_2) gestatten den Gleichstrom zu regulieren, den die Lichtbogen, an die ein Kondensator C, sowie eine Spule Lp parallel angeschlossen sind, in den Wechselstrom von hoher Frequenz umwandeln, dem es allein gelingt, Fernwirkungen auszuüben. Die Schwingungen in

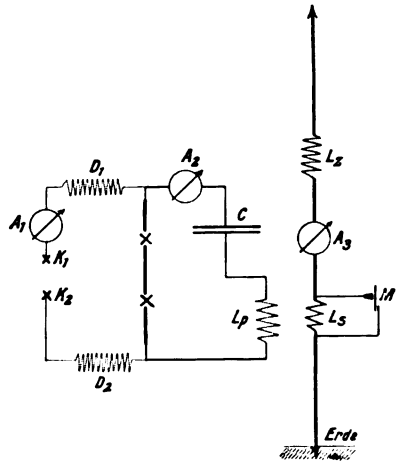


Fig. 172a.

Digitized by Google

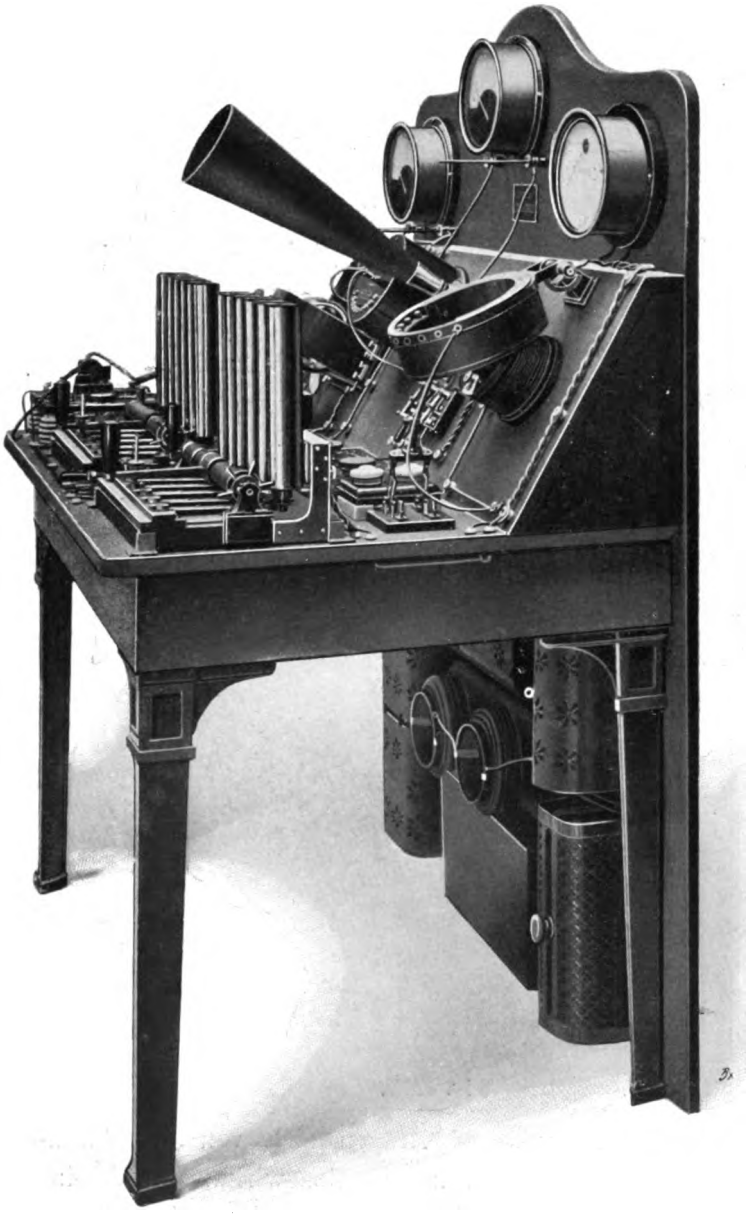


Fig. 171a.

Digitized by Google

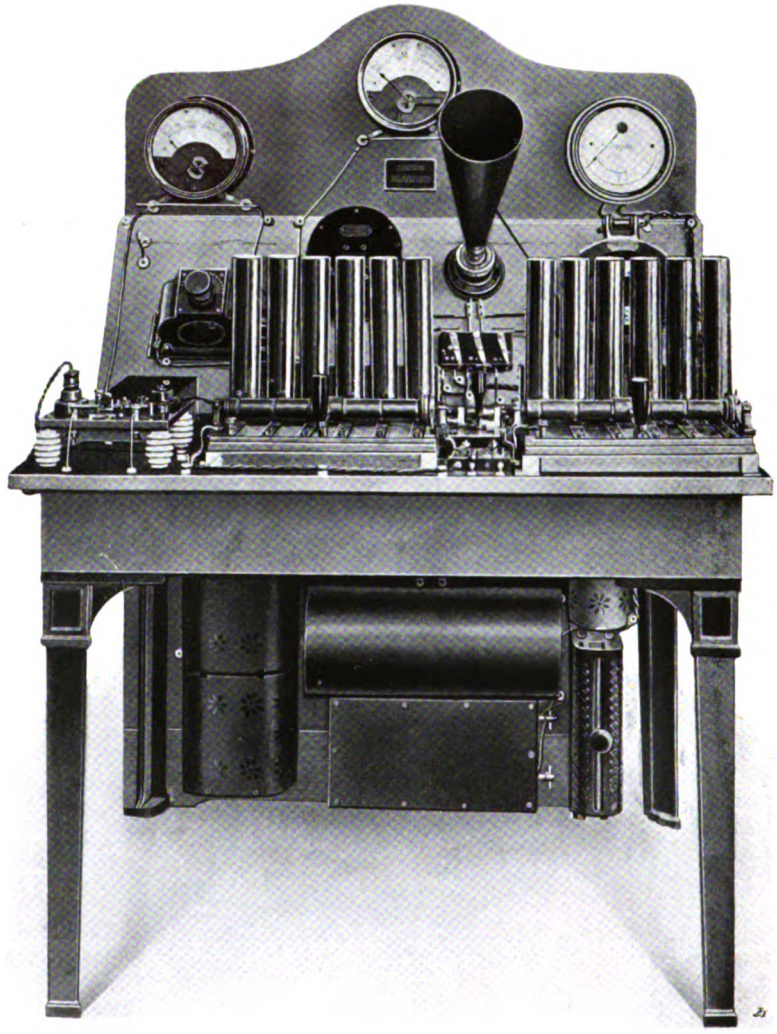


Fig. 171 b.

diesem Kondensatorkreise übertragen sich von der durchflossenen Spule infolge Transformationswirkung auf eine zweite *Ls*, die in den Luftdraht eingeschaltet ist und so diesen,

Digitized by Google

der sich mit dem Kreise nach Regulierung der Zusatzspule *Lz* in Resonanz befindet, zum Mitschwingen veranlaßt. Hierdurch würde er zunächst nur in derselben Weise Wellen aussenden, wie jeder Sender für drahtlose Telegraphie, bei welchem ein Taster durch Niederdrücken und Öffnen Schwingungen entstehen läßt oder nicht, die ihre Intensität aber niemals ändern. Zur Telephonie war es erforderlich, dieselbe nach den akustischen Schwingungen unserer Sprachlaute zu variieren, dies besorgt das Mikrophon *M*, welches an die Enden der im Luftdraht befindlichen Spule *Ls* gelegt ist. Je nach den Widerstandsänderungen, die das Mikrophon beim Schwingen seiner Membran erleidet, bietet es den schnellen Schwingungen einen mehr oder weniger gangbaren Nebenweg und schwächt sie dadurch in rhythmischer Weise.

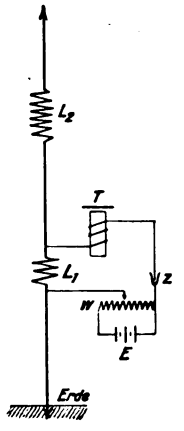


Fig. 172b.

Die Station kann nur entweder geben oder empfangen, nie beides gleichzeitig, weil die verhältnismäßig starken Schwingungen beim Senden die empfindlichen Empfangsapparate, die ja an den gleichen Luftdraht gelegt werden müssen, zerstören würden. Steht die Station auf Empfang, so entsaugt der Luftdraht dem Raume gleichsam die elektrischen Wellen und führt sie, wenn ich von den Details absehen darf, einem Telephonhörer *T* (Fig. 172b, Empfängerschaltung) zu, in dem die, den schnellen Schwingungen überlagerten, akustischen hörbar werden, so daß man deutlich das am Geber Gesprochene vernehmen kann.

Nach Anruf der Gegenstation, die sich in 4 km Entfernung im Hause der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie

Digitized by Google

befindet, aber durch das Häusermeer Berlins von uns getrennt ist, können wir deutlich die dort gesprochenen Zahlen hören und mit den anwesenden Herren Zwiesprache halten. Auffallend ist das Fehlen aller Nebengeräusche.

Der Gesang Caruso's, allerdings nur aus dem Schalltrichter eines Grammophons, wird durch den brausenden Lärm der Weltstadt hindurch in vollster Reinheit in unser Ohr getragen.

Digitized by Google

Abseits vom Wege.

Digitized by Google

Digitized by Google

1.

Die Wanderung der Energie.*)

Feierlicher Glanz erfüllt heut die Räume, die sonst nur dem Ernste der Arbeit dienen, festliche Klänge durchrauschen sie und vereinigen sich mit den Tönen der Freude in den Fluren des Vaterlandes. Begrüßen wir doch den Tag, an dem der erhabene Schirmherr des Landes ein neues Jahr seines Lebens beginnt.

Aus der Arbeit des Tages erhebt sich der festliche Sinn zu Gedanken voll höherer Weihe, in rastender Stille denkt er zurück an das Werden vergangener Tage, das zur freundlichen Gegenwart sich geklärt, und mit hoffendem Auge versenkt sich der Blick in die Zukunft.

Auch die Gemeinsamkeit, die uns an dieser Stätte umschließt, sieht hinter sich das Werden der Jugend, sie fühlt vertrauende Kraft in den Adern, und schickt sich an, erhobenen Mutes die Schwelle eines neuen Jahrhunderts zu betreten.

Wo aber weilt die Erinnerung lieber als in den Tagen des Frühlings? Wir denken nicht an den blütenbrechenden Frost, noch an den verheerenden Sturm, uns erfüllt ein Nachgefühl jener herrlichen Kraft, die durch Nebel des Irrtums

*) Festrede zur Feier von Königsgeburtstag an der Technischen Hochschule. 1895.

Digitized by Google

hindurch zum Lichte empordrang. Sei es mir drum vergönnt, in dieser Stunde zu reden von jenen Frühlingstagen, da die Keimkraft edler Gedankensaat dem jungfräulichen Boden unserer Wissenschaft neues Leben entlockte.

Noch liegt die Zeit nicht fern, wo die technische Wissenschaft zuerst den Mut gewann, sich selbst als solche zu erkennen und Einlaß zu heischen in den Kreis der älteren Schwestern. Anfangs sah man in ihr nur ein verändertes Bild der Naturwissenschaft, doch heut steht sie da an der Seite derselben in dem vollen Bewußtsein eigener Kraft und reicht ihr die Hand zu ersprießlichem Bunde —

> Wo ihr die Schwester die Schleier des Nebels verscheuchte,
> Lockt sie im Glanze des Lichts Leben aus totem Gestein.

Für den Verlust paradiesischen Glückes ward einst dem Menschen ein anderes göttliches Geschenk: die Kraft der Erfindung. Sie ruht in auserwählten Naturen, in ihrem Walten begrüßen wir überirdische Mächte mit derselben staunenden Ehrfurcht wie in den Geistestaten der Dichter und Denker. Getragen von ihrem Fittig vermag das Genie Klüfte im Fluge zu überspringen, doch dauernder Besitz folgt nur auf den mühsam erbauten Brücken wissenschaftlicher Erkenntnis. Die Arbeit vergangener Jahrhunderte hat ihr den Boden bereitet und zur Überwindung irdischer Kräfte sichere Waffen geschmiedet. Doch das gewaltigste Rüstzeug wird ihr gereicht in der Mitte unseres Jahrhunderts. Der Naturwissenschaft gelingt ihre größte befreiende Tat. Sie entschleiert das Wirken wechselnder Kräfte, ins Innere der Natur dringt der „erschaffene Geist“, und was Jahrhunderte lang von den tiefsten Denkern geahnt, doch kaum erhofft, tritt sonnenklar an das Licht des Tages. Der technischen Wissenschaft aber öffnet sich ein schrankenloses Gebiet, sie tritt erst

Digitized by Google

jetzt die Herrschaft an über die freien Kräfte der Natur. Es ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie, das unserer Wissenschaft den Impuls der Jugend verleiht.

Worin besteht der gewaltige Fortschritt, den gerade die Technik diesem Gesetze verdankt? Lassen Sie mich versuchen, denselben an einem Beispiele zu erläutern.

Versetzen Sie sich mit mir in die Szenerie einer wildbewegten Gebirgsnatur. An schroffen Felsen entlang führt der durch Menschenkunst mühsam gebahnte Weg. Jede Biegung desselben enthüllt uns neue wechselnde Bilder voll Großartigkeit und Liebreiz. Da eilt ein Wildbach über den Weg und sinnend stehen wir auf den Brückenplanken. Der Blick des Ingenieurs sieht in dem Spiel der stürmenden Naturkräfte noch etwas anderes als das entzückte Auge des Naturfreundes. Er schätzt die Menge des in der Sekunde dahinbrausenden Wassers und sendet prüfend den Blick ins Tal, die Tiefe desselben zu ermessen. Er weiß, daß jedes in einer Sekunde unter ihm forteilende Kubikmeter, hundert Meter tiefer durch eine Turbine geschickt, die Kraft von tausend Pferden in nutzbringende Arbeit verwandelt. Das Wasser besitzt an jener Stelle also noch eine andere als eine bloß raumerfüllende Eigenschaft. Es ist im Hinblick auf den tieferen Ort mit der Fähigkeit begabt, eine Arbeit zu leisten, ihm wohnt dasjenige inne, was man als Energie bezeichnet. Die Größe derselben ist durch die Höhenlage des Wassers bestimmt, sie heißt darum Energie der Lage.

Sie ist wie die stoffliche Menge des Wassers unverlierbar und unzerstörbar in ihrer quantitativen Größe. Wie aber das Wasser selbst die verschiedensten äußeren Formen annehmen kann, wie es sich wandelt in Dampf oder zerfällt in elementare Bestandteile, ohne jedoch dabei an Gesamtgewicht zu verlieren, so besitzt auch seine Energie die Eigenschaft, sich

Digitized by Google

proteusartig verwandeln zu können, ohne Einbuße zu erleiden an ihrer Größe.

Eine ihrer wichtigsten Wandlungen erkennen wir an der Turbine. In kreisender Bewegung sehen wir ihr Rad, und durch seine Geschwindigkeit erlangt es die Kraft, nützliche Arbeit zu verrichten. Die rotierende Bewegung ist eine neue Form, in welche die Arbeitsfähigkeit des Wassers sich kleidet, es ist Energie der Bewegung.

Vielleicht besitzt das Gebirgstal eine eigene Industrie. Dann lagern sich die Werkstätten dicht um das Turbinenhaus. Durch Seile, Riemen und Räderwerk wird die Bewegung sinnreich erdachten Arbeitsmaschinen zugetragen und fleißige Hände eilen geschäftig daran hin. Sie befestigen das Werkstück, das der Formgebung harrt, auf eisernem Bett und leiten die Spitze des Bohrers, die Kante des Meißels oder die Schärfe der Säge an jene Stellen, wo der unförmige Stoff zu mathematischer Form oder zum kunstvollen Gebilde sich wandelt. Überall ist es die Energie der Bewegung, die den Widerstand überwindet. In gewaltiger Reibung verzehrt sich scheinbar die rastlose Kraft, und die Wasser müssen unaufhörlich talabwärts rinnen, nimmermüde ihre fleißige Arbeit in den Schaufeln der Turbine verrichten, soll nicht das Räderwerk erlahmen und zur toten Ruhe erstarren.

Wo aber bleibt nun die Energie, deren Unzerstörbarkeit das Naturgesetz behauptet? Wir bemerken es wohl, daß der verwandelte Stoff und das bildende Werkzeug unerwünscht eine neue Eigenschaft zeigen: sie werden erwärmt. Seit Jahrtausenden war die Erscheinung bekannt, erleuchtete Geister ahnten schon oft hinter dem Schleier ein tieferes Band, doch erst einem deutschen Forscher, Robert von Mayer, war es vergönnt, dasselbe klar zu erkennen. Als erster Fackelträger des Lichts drang er in das geheimnisvolle Gebiet, und

Digitized by Google

hat die Geschichte der Wissenschaft von ihm auch nichts zu verzeichnen als diese Tat, sie leuchtet dafür um so heller.

Nicht metaphysische Bahnen wandelt sein Geist. Die intensivste Betrachtung der Natur, die Zergliederung und Verknüpfung ihrer wechselnden Erscheinungen, eine ursprüngliche, reine, zur höchsten Kraft gereifte Beobachtungsgabe führt ihn zum Ziel. Seine Erziehung als Arzt bringt diese Fähigkeiten schon früh zur glücklichsten Entfaltung. Ihn beseelt der Trieb, die Erscheinungen der Natur in allen Breiten des Erdballs zu schauen, und er verdingt sich als Schiffsarzt der holländischen Regierung für den mörderischen Dienst in ihren Kolonien. Auf einsamer Fahrt über das Weltmeer versenkt er sich in den südlichen Sternhimmel und sinnt über die Kräfte des Universums. Die üppige Vegetation der Tropen führt ihm die lebenspendende Energie der Sonnenwärme vor Augen; das hellrote Blut seiner Schutzbefohlenen unter dem heißen Himmel Batavias erschließt ihm die Bedeutung der Wärme für den Organismus belebter Geschöpfe. Wie klare Krystalle ordnen sich die Gedanken in seinem Geist. Zurückgekehrt in die Heimat, betrachtet er mit geschärftem Blick den brausenden Zug auf der Eisenbahn; er erkennt die kraftspendende Wärme in dem Kessel der Lokomotive, sieht ihre Wandlung in Bewegungsenergie und wie sie an den eilenden Rädern von neuem als Wärmewirkung erscheint. In der Papierfabrik beobachtet er an dem Holländer, jener Maschine, welche die Papiermasse zerkleinert, die Temperaturerhöhung des Breies und vergleicht sie mit dem Kraftaufwand. So schreitet er unaufhaltsam fort bis zur entscheidenden Tat und enthüllt die Wahrheit: Auch die Wärme ist nur eine Form der Energie, wie jene der Lage und der Bewegung, sie läßt sich beziffern wie diese in rein mechanischem Maß. Aus bekannten Tatsachen der Physik folgerte er diese Zahl und gab sie zuerst

Digitized by Google

bekannt. Nach kurzer Rast zog er aus zu neuer folgenschwerer Entdeckung: er zeigte das Walten des ehernen Gesetzes auch in der Welt der elektrischen, magnetischen und chemischen Erscheinungen und bewies, daß auch diese nichts anderes sind als neue ebenso wandelbare Formen der Energie.

In der letzten Hälfte des Jahrhunderts zieht die Technik daraus ihre staunenerregenden Schlüsse: Sie beflügelt die Kraft und verbreitet den Glanz des elektrischen Lichtes.

Seit grauer Vorzeit kannte man die geheimnisvolle in dem Magnetstein schlummernde Kraft, länger als ein Jahrhundert schon zuckte der elektrische Funke von der Kugel der Elektrisiermaschine, doch mit sieben Siegeln hält die Natur ihr letztes Geheimnis verschlossen. Erst in der Morgenröte unseres Jahrhunderts öffnet sie ihren tiefsten und edelsten Schatz. Alle Kulturvölker nehmen gleichmäßig Teil, die kostbaren Güter zu fördern. Faraday ist der erste, der die schwankende Brücke schlägt hinüber ins Reich der mechanischen Kräfte, und getragen von der Erkenntnis des großen Naturgesetzes führt Werner von Siemens die Himmelstochter selbst im eisernen Kleid in den Dienst des schaffenden Lebens. Derselbe Strom, der die Schwingen des Blitzes leichten Gedanken verleiht, wird auch zum Träger gewaltiger Energie.

Suchen wir die Erklärung von neuem an unserem Beispiel. Das Hochgebirgstal wird selten geeignet sein, die Wasserkraft in den unmittelbaren Dienst der Technik zu stellen; wichtiger ist es, die unerschöpfliche Kraft in die gewerbreichen Städte der Ebene zu tragen. Was noch vor 30 Jahren ein Hirngespinnst der Phantasie: nämlich die Kraft vielhundertpferdiger Maschinen auf meilenweite Entfernung nutzbringend zu leiten, ist heut die gewohnte Arbeit des

Digitized by Google

Ingenieurs. Von der Turbinenwelle getrieben, wird die Dynamomaschine zum Sitz elektrischer Kräfte, die damit verbundene Leitung zum Träger der unsichtbaren Form verwandelter Energie. Mit Instrumenten einfachster Art messen wir die Elemente des elektrischen Kreislaufs, seine Spannung und seine Stärke. Wie die Energie des Wassers sich bestimmte durch das Produkt aus Gewicht und Fallraum, so ergibt sich als sekundliches Maß der elektrischen Energie das Produkt aus Spannung und Stromstärke und eine einfache Zahl verknüpft die ermittelten Werte.

Mit untrüglicher Sicherheit ordnet der Ingenieur die Ziffern seines Projekts. Zwar bedingt die erneute Wandlung einen Verlust an Energie, der sich in die Wärmeform kleidet, doch er kennt den Nutzeffekt seiner Maschinen und die Mittel, ihn zu beherrschen. Voll Zuversicht kann er die Pole derselben mit der Leitung an hochragenden Masten verbinden, ist ihm doch die Größe der Arbeitsleistung bewußt, die er dem schwankenden Drahte vertraut.

Prüfend erwägt sein Geist, ob an dem fernen Orte, wo die geschäftige Industrie die willkommene Kraft empfängt, ihr wirtschaftlicher Wert den aufgewendeten Kosten entspricht. Denn nicht ohne Verlust wandert die Energie, Weggeld und Zehrung kostet die Reise über Berg und Tal und unaufhörlich gleitet die Münze der Wärmeform in entgegengestreckte Hände. Der Verlust hängt sowohl von der Stärke des Stromes ab, als auch von der Größe des metallischen Querschnitts der Leitung. Eine Breiterung des Weges erfordert beträchtliche Kosten. Doch die klare Erkenntnis, daß die Größe der Energie nicht allein durch die Stärke des Stromes, sondern auch durch die Höhe der Spannung bedingt ist, gibt ihm das sichere Mittel, durch Steigerung der Spannung die Kosten der Reise wirtschaftlich zu gestalten.

Digitized by Google

Erst seit wenig Jahren hat die technische Wissenschaft das Problem der Erzeugung hochgespannter Ströme gelöst. Die einfachste Form, in der elektrische Energie in die Erscheinung tritt, ist der Gleichstrom. Hindernisse stellten sich seiner Erzeugung mit hoher Spannung entgegen und zahlreiche Versuche führten zum Mißerfolg. Doch über die Trümmer zerstörter Dynamomaschinen hinweg eilte die Technik in rastlosem Siegeslauf. Ein neues Panier erhebt sie mit kraftvoller Hand und unter dem Zeichen des Wechselstroms, einer anderen Form elektrischer Energie, erreicht sie das Ziel.

Der Wechselstrom besitzt eine wertvolle Eigenschaft, welche dem Gleichstrom fehlt. Durch einfache Hülfsmittel, Transformatoren genannt, läßt sich seine niedrig gespannte Energie verwandeln in hochgespannte und umgekehrt, ohne nennenswerten Verlust. Eine reiche Mannigfaltigkeit in der Gestaltung der Form erschließt sich. Je weiter die Entfernung, in welche elektrische Energie zu versenden, desto höher schrauben wir gleichsam in den Windungen des Transformators ihre Spannung und erniedrigen damit zugleich die den Verlust bedingende Stärke des Stromes. Mit Sicherheit berechnen wir den Fehlbetrag am fernen Ende der Leitung und bilden mit Zuversicht das Facit der wirtschaftlichen Bilanz. In umgekehrter Folge vollzieht sich der Umtausch der Energie zu mechanischen Arbeitswerten am Ort des Bedarfs. Im Transformator wechselt sie wieder das Reisekleid und betritt als gesitteter Bote die Stätte der Menschen. Dienstbereite Elektromotoren empfangen sie und verwandeln sie in die vertraute Form mechanischer Bewegung.

Im ewigen Gleichmaß gesetzmäßiger Wandlung ordnet sich so der Kreislauf der Energie, und das emsige Getön der Werkstatt ist nur ein Wiederhall des brausenden Hymnus der

Digitized by Google

Natur, die in zerklüfteten Felsen das Wasser rauschend zu Tale führt. Ein bleibender Ruhmestitel deutscher Technik ist es, daß sie die Richtigkeit dieser Gedanken zuerst erwies durch den Erfolg der praktischen Tat, und eine wunderbare Fügung ist es zu nennen, daß die Wasserkraft, welche ihre 300pferdige Energie 23 Meilen weit bis in das Herz jener Ausstellung zu Frankfurt a. M. entsandte, den Fluten des Neckars entstammte, an dessen Ufern fünfzig Jahre zuvor einsam und unverstanden der große Forscher gewandelt, auf dessen Gedankenarbeit die gewaltige schöpferische Tat der Technik in ihren tiefsten Fundamenten sich gründet.

Doch mit der Wechselbeziehung zwischen der elektrischen, kalorischen und mechanischen Form der Energie ist ihr technisches Wirkungsgebiet nicht erschöpft. Ihre herrlichste, göttlichste Form offenbart sie im Glanze des Lichts, der blendenden Schwester der Wärme.

Es läßt sich nicht mehr bezweifeln, daß die Erscheinung der Wärme ein rein mechanischer Vorgang ist, eine zitternde, schwingende Bewegung der kleinsten Teile der Körper, anderen Massen mitteilbar durch Berührung oder durch das Medium des vibrierenden Äthers, jenes Stoffes von unendlicher Feinheit, der die Räume des Universums erfüllt. Je nach der Periode der Bewegung äußern sich seine Wellen in verschiedener Wirkung. Ein vom elektrischen Strom durchflossener Draht sendet Strahlen aus, die wir als Wärme erkennen. Durch bewunderungswürdige Hülfsmittel ist es gelungen, die viele Billionen erreichende Zahl ihrer Schwingungen in der Sekunde zu messen. Steigern wir die Temperatur des Drahtes durch Vermehrung des Stromes, so nimmt die Zahl dieser Schwingungen zu und ihre Wirkungssphäre erreicht ein neues Gebiet. Sie erregt die Netzhaut des Auges und wir begrüßen die Wellen des Lichts; anfangs

Digitized by Google

nur die matten Strahlen eines rötlichen Schimmers, bei weiterer Erhitzung die helleren Farben des Gelb, des Grün und des Violett bis zur vollendeten Harmonie des glänzenden Sonnenlichts. Also auch die Wahrnehmung des Lichts beruht zuletzt auf rein mechanischer Wirkung und man hat die billionsten Teile der Pferdestärke berechnet, mit denen das Pochwerk der Äthermoleküle auf die zarten Nerven des Auges hämmert.

Die Strahlen des elektrischen Lichtes vergolden das scheidende Jahrhundert. In seiner Eigenart erkennen wir nur eine neue Form der Energie im großen Haushalt der Natur. Verschwenderisch sind die Ausgaben, welche ihre edelste Wandlung bedingt. Noch harrt die Technik des großen Erfinders, der die Erzeugung von Licht ohne Wärme uns lehrt. Heut gleichen wir nur einem Organisten, der die ganze brausende Gewalt seiner tiefsten Register miterklingen lassen muß, um wenige hohe Töne hervorzulocken. So erfährt auch der helle Ton der Begeisterung über den Glanz des elektrischen Lichts eine Dämpfung, wenn uns bewußt wird, daß von der gesamten Energie, welche wir in den leuchtenden Kohlenfaden schicken, nur fünf Prozent sich in die ersehnte Form des Lichts verwandeln. Und doch ist der Fortschritt ein großer zu nennen, wenn die gleiche Erkenntnis uns lehrt, daß der leuchtende Wert der Gasflamme nur ein winziges Drittel Prozent ihrer Gesamtenergie erreicht. Sparsamer als das Glühlicht waltet das Bogenlicht mit den Schätzen der Natur, denn ihren zehnten Teil sendet es aus mit seinen blauweißen strahlenden Wellen. Doch unerreichtes Vorbild bleibt uns die Lehrmeisterin Natur. In ihrer verborgenen Werkstatt hat sie das große Problem schon vor Jahrtausenden gelöst: in dem Körper des Glühwurms, der an lauen Sommerabenden uns mit dem Zauber seines grünlichen Schimmers

Digitized by Google

erfreut, wandelt sie ihre ganze Kraft in die selektive Strahlung des Lichts. Rastlos folgt ihren Spuren der sinnende Menschengeist, und schon hat ein kühner Erfinder, Nicola Tesla, die Ufer eines neuen Stromes entdeckt, in den die Quellen der Natur ihre Lichtenergie in breiteren Fluten ergießen.

Eine letzte, nicht minder bedeutsame Form des Arbeitsvermögens der Natur schlummert in ihren chemischen Kräften. In den Verbindungen der Atome erkennen wir heut eine Energie der Lage, die gleich der Sehne des gespannten Bogens nur eines geringen Anstoßes bedarf, um gewaltige Wirkungen zu entladen. Mit Grauen gedenken wir der Macht, die in einem Häuflein Dynamit ihrer Auslösung zu todbringender Wandlung harrt. Doch auch zu wertvollem Dienst leiht sie dem Menschen willig die Riesenkraft. Felsensprengend bahnt sie den Weg der Kultur und in den Tiefen der Erde bricht sie für ihn das schimmernde Erz und die schwarzen Diamanten, die Kohle. Aus den Farrenwäldern der Vorzeit, den „versteinerten Bronnen des Lichts“, wo längst versunkene Sonnen unermeßliche Schätze der Wärme gespeichert, fördert das Zeitalter des Dampfes die belebende Kraft und tausendgestaltig wandert die ewige Energie von neuem durch die irdische Welt.

Wie bei der Wandlung zum Licht wüsten wir auch hier mit der Kraft der Natur. Kaum ein Zehntel des kostbaren Gutes, das die Feuerung des Kessels verschlingt, leitet das Schwungrad der Dampfmaschine in die Hände des Menschen. Ein volles Jahrhundert haben wir mit dem edlen Besitz wie ein Verschwender gewaltet, bis uns der Elsässer Hirn die verborgenen Wege enthüllte, auf welchen die Dampfmaschine die Wärme nutzlos vergeudet. Wiederum war es das große Naturgesetz, welches den erblindeten Augen des Forschers

Digitized by Google

die Sehkraft des Geistes verlieh. In erfolgreiche Bahnen lenkte seitdem der neu belebte Erfindungstrieb und in der Gasmaschine begrüßen wir heut schon einen Rivalen, der die Nutzung der Wärme doppelt so günstig gestaltet.

Noch aber ruht im dunklen Schoße der Zeit die größte Tat: die direkte Wandlung der Spannkraft der Kohle in die begehrteste, schmiegsamste, wandlungsfähigste Form der elektrischen Energie. Kaum auszudenken ist die Veränderung, welche unsere wirtschaftliche Welt in ihrem tiefsten Innern erfahren müßte, wenn es gelänge, die Lieferung der elektrischen Arbeitskraft auf wenige mächtige Zentralsitze, die Kohlenreviere der Erde, zu vereinigen. Die Umwälzungen, welche die Erfindung der Dampfmaschine im Gefolge gehabt hat, geben uns eine schwache Vorahnung dieser gewaltigsten Revolution. Daß sie einst kommen muß — das ist die untrügliche Verheißung des Gesetzes von der Wandlung der Energie. —

In wenigen Bildern habe ich versucht, die Bedeutung des Gesetzes für die Technik zu entrollen. Mit neuem Geist hat es die alten Formen erfüllt, einzelne Zweige unserer Wissenschaft zu blühendem Leben erweckt. Den Sinn für die Arbeit unseres Berufs sehen wir in die weitesten Kreise getragen. Der Stand des Ingenieurs, der so lange als minderwertig gegolten auf den Höhen des Lebens, in denen der Ruhm sich bildet und wohnt, ist heut geachtet und begehrt, unsere Lehrstätten sind umdrängt von begabten Söhnen des Vaterlandes. Ein tiefes Gefühl des Dankes erfüllt uns, doch nicht der siegende Geist, sondern allein das ringende Menschenherz und sein irdisches Geschick rührt die Saiten unseres Gemüts.

In diesen Tagen, wo das Vaterland um den Tod eines seiner edelsten Söhne, Hermann von Helmholtz, trauert,

Digitized by Google

ist das menschliche Interesse für die bedeutsamste wissenschaftliche Tat des Jahrhunderts von neuem lebhaft erregt. Die erste große Arbeit seines Lebens, welche der mathematischen Begründung des Gesetzes, unter beschränkenden Voraussetzungen, gewidmet war, hat seinen Namen für immer damit verknüpft. Wir wollen uns heute auch dankbaren Herzens daran erinnern, daß die letzte geläuterte Kraft seines Lebens der unmittelbaren Förderung technischer Wissenschaft galt. Es ist ein bedeutsames Zeichen der Zeit, daß sie ihre edelste Kraft in den Dienst des schaffenden Lebens gestellt hat. Unser Haus barg die Stätte für einen Teil seines Wirkens und wir haben ihn unter uns wandeln sehen mit seinen tiefklaren Augen, in der Hoheit seiner Ehrfurcht erweckenden Gestalt. Noch wenige Tage vor seiner letzten schweren Erkrankung hat er in diesem Saale geweilt und ein kleinerer Kreis hat auf die Weisheit seiner Worte gelauscht.

Doch die volle Tragweite des großen Gesetzes zuerst erkannt und in leuchtender Klarheit entwickelt zu haben — das ist die unsterbliche Tat Robert von Mayers, den ein englischer Forscher neidlos den größten Genius des Jahrhunderts genannt hat.

Er hat seine Gedanken nicht in die Sprache mathematischer Formeln gekleidet, nur die höchste wissenschaftliche Kraft vermag es, die Grundwahrheit einer Erkenntnis mit schlichten Worten zu sagen. Ihm blieb der begeisterte Zuruf einer dankbaren Mitwelt versagt. Kränkende Zurückweisung warf die Schatten der Verbitterung über den Rest seines Lebens und selbst die Natur schien die geistigen Augen, die ihr tiefstes Geheimnis zuerst erschaut, mit strafendem Schleier zu blenden.

Digitized by Google

Die Nachwelt reicht heute Beiden die Palme. Das Jahrhundert, dem so viel Glanz sie liehen, begrenzte auch ihren irdischen Lauf. Doch wie verschieden der Abschiedsgruß ihrer sinkenden Sonne! In majestätischer Pracht sank die eine hinab, mit glutrotem Schein den Himmel weithin vergoldend —

Wem hold sind die Götter,
Dem blüht der Vollendung
Herrliche Blume.

Aus umnachtenden Wolken zerrissene Strahlen entsendend, die andere —

Was ist der Ruhm? Ein Regenbogenlicht,
Ein Sonnenstrahl, der sich in Tränen bricht.

Digitized by Google

2.

Werden und Wachsen deutscher Ingenieurkunst.*)

Der Zeitabschnitt, auf welchen wir heute zurückblicken, ist durch zwei große, alles überragende Tatsachen gekennzeichnet: die politische Einigung unsres Vaterlandes und seine wirtschaftliche Erstarkung. Aus vielen Quellen fließen die belebenden Kräfte, welche den alten Stamm unsres Volkes von neuem so reich belaubten, daß unter seinem Schutze nicht bloß in der Heimat, sondern weit über das Weltmeer hinaus der deutsche Gewerbefleiß in nutzbringender Arbeit sich entfalten konnte. Eine dieser Quellen entsprang der Regsamkeit und der Intelligenz des deutschen Ingenieurstandes. Getragen von der Überzeugung, daß die deutsche Ingenieurkunst nur unter dem Schutze der Machtfülle einer geeinten Nation im Auslande Geltung gewinnen konnte, schlossen die Gründer unsres Vereines, kaum dem Jünglingsalter entwachsen, ihren Bund, und nannten ihn trotz der politischen Zersplitterung des Vaterlandes mutig und begeisterungsvoll den Verein deutscher Ingenieure. Ein leuchtendes Wahrzeichen richteten sie damit auf, und mit tiefster Befriedigung erfüllt es uns,

*) Eröffnungsrede bei der Feier des 50jährigen Bestehens des Vereins deutscher Ingenieure am 11. Juni 1907 im Reichstaggebäude.

Digitized by Google

daß wir heute, nach fünfzig Jahren, uns an der Stelle vereinigen dürfen, welche wir als die monumentale Verkörperung der nationalen Einheit betrachten. Was unter den grünen Tannen eines deutschen Waldgebirges in jugendlicher Begeisterung geträumt und geplant, findet heut seine Weihe unter der Kuppel des deutschen Reichstages.

Fünfzig Jahre sind eine kurze Spanne Zeit im Dasein der Völker; doch welche Umwälzungen in unserm öffentlichen und inneren Leben haben wir schauend und denkend verfolgt! Wer freien und vorurteilslosen Blickes diese Jahre an sich vorüberziehen läßt, muß ehrlich bekennen: dem großen Ringen der Nation um ihre politische Einheit ist keine Ermattung gefolgt. Frisches Leben durchbraust noch heute alle Glieder unsres Volkskörpers, und wer auf geistigem Gebiet in dem Drängen nach neuen Kunst- und Weltanschauungen, auf wirtschaftlichem Felde in den erbitterten Interessenkämpfen nur beklagenswerte Erscheinungen sieht, der vergißt, daß nach ewigen Naturgesetzen regsame Kräfte Reibung hervorrufen müssen, welche in letzter Instanz doch nur Wärme erzeugt und damit dem Wachsen und Blühen des Gesamtorganismus gedeihlich ist.

Lenken wir unsern Blick auf die wirtschaftlichen Kräfte, soweit sie geistiger Natur sind. Eine auffallende Erscheinung tritt uns entgegen, die mehr noch als bei uns in den erstaunten Augen andrer Kulturnationen sich wiederspiegelt - - das ungeahnte Aufleben eines mit Tatkraft und Wissen geparten Wagemutes und Unternehmungsgeistes, wie ihn sonst nur die Welt bei unserm glücklichen englischen Brudervolke neidend und bewundernd zugleich durch Jahrhunderte hindurch beobachtet hat. In Hellenismus und verspätete Philosophie versunken glaubte man das Volk der Dichter und Denker, eine edle Kulturmission mit nimmer-

Digitized by Google

müdem Idealismus vollendend. Doch unter dem Schleier regten sich neue Keime, die in dem vereinten Boden Pflege und Stütze fanden; ihre Wurzeln wühlten sich tiefer und drangen nach außen bis weit in die Ferne, und als eines Tages ein kräftiger Seewind darüberfuhr, da hob sich der Schleier und zeigte die deutschen Keime an allen Ecken und Enden der Erde festgewurzelt und Blüten tragend.

Im mütterlichen Boden hatten die Kräfte geruht von Anbeginn, und wer Geschichte zu lesen versteht, der wußte, daß die saftvollen Wurzeln der Hansa dereinst von neuem zum Tageslicht drängen würden. Das Aufblühen unserer Schiffahrtsindustrie ist eine der größten Überraschungen, welche die merkantile Welt jemals erlebt hat, und die Entwicklungsgeschichte unserer großen Gesellschaften klingt fast wie ein Märchen.

Reiche Lager von Kohlen und Erzen ruhten fast unberührt in dem Boden des Vaterlandes. Der Unternehmungsgeist, welcher in der letzten Hälfte des Jahrhunderts wie ein erfrischender Hauch über Deutschland dahinfuhr, förderte die Schätze ans Tageslicht und gab den beweglichen Kräften des Westens neue Ziele, der erstarrenden Bevölkerung des Ostens neue Impulse. Zu ungeahnter Blüte entwickelte sich die deutsche Eisenindustrie, und eine eigentümliche Fügung des Schicksals wollte es, daß der erfinderische Geist unsres mächtigsten Nebenbuhlers uns selbst die Waffe in die Hand gab, um den gefährlichen Feind, der unsere Eisenerze zu minderwertigen stempelte, siegreich zu bekämpfen. Mit dem Thomas-Verfahren der Entphosphorung trat Deutschland an die Spitze der eisenerzeugenden Länder der alten Welt.

Eine tiefe Bedeutung ruht in dieser Tatsache. Forschung und Erfindung sind nicht gebunden an die Grenzen eines Landes, sie breiten ihre Segnungen aus über

Digitized by Google

die ganze Welt. Forschung und Erfindung vereint mit Unternehmungsgeist sind aber die großen Kulturhebel der Menschheit.

Wie der Boden der Mutter Erde unerschöpflich ist an grünenden und erstarrten Schätzen, so birgt die Natur in ihren gesetzmäßig waltenden Kräften noch eine unendliche Fülle des Reichtums. Doch nicht mechanische Arbeit allein erschließt sie uns, hier siegt nur der Geist, und mit Gedanken haben wir uns zu gürten.

In erstaunlicher Fülle hat die Natur im abgelaufenen Jahrhundert Gesetze enthüllt, die sie dem geistigen Auge der Menschheit jahrtausendelang verbarg. Ein halbes Jahrhundert mühte sich selbstlos die Forschung und entriß ihr die Schleier, die andere Hälfte zeigt den Sieg der Erfindung: die gefesselten Kräfte fügen sich dienstbereit dem Willen des Menschen.

Auf diesem Kampfplatze der Kultur scharte sich vor 50 Jahren jenes Häuflein von 23 jugendmutigen Streitern um ein Panier, welches die stolze Inschrift trug: „Die geistigen Kräfte deutscher Technik". Heute ist es eine Armee von 20000 Kämpfern, welche mit den ebenbürtigen Kräften aller Kulturnationen um die Palme des Fortschrittes ringt. Und wenn wir heute von einer deutschen technischen Wissenschaft reden dürfen, wenn die Bedeutung unserer Ingenieurkunst von allen Nationen in ihrer wissenschaftlichen Vertiefung erkannt wird, so darf der Verein deutscher Ingenieure einen Teil dieses Erfolges auch auf seine Arbeit zurückführen. Die 50 Jahrgänge seiner Zeitschrift spiegeln sein wissenschaftliches Mühen getreulich wieder; war es doch schon bezeichnend, daß er zum geistigen Führer einen Mann der Wissenschaft, den unvergeßlichen Grashof, erkor, der 34 Jahre in Treue und Selbstlosigkeit seines Amtes waltete. Das Ge-

Digitized by Google

dächtnis dieses großen und guten Mannes lebt unauslöschlich in unsern Herzen.

Wenn wir nach den hervorragendsten Merkmalen suchen, welche unsere Entwicklung begleitet, ja zum wesentlichen Teil erst ermöglicht haben, so können wir nicht vorübergehen an der größten Forschungstat des abgelaufenen Jahrhunderts: der Entdeckung des Energiegesetzes durch Robert Mayer. Nicht aus dem schnell sich erschöpfenden Acker der Schulwissenschaft, sondern aus dem Boden des unbeirrten urwüchsigen Denkens drang diese neue Naturerkenntnis zum Licht. Kein Zunftgelehrter war es, der das harmonische Zusammenwirken aller Kräfte der Natur erkannte und damit zeigte, „was die Welt im Innersten zusammenhält". Und doch gab er dem wissenschaftlichen Denken der Menschheit eine neue Richtung, dem Ingenieur das Fundament, auf dem er seine Wissenschaft sicher begründen konnte. Es ist darum nicht ohne innere Berechtigung, daß der Verein deutscher Ingenieure als erster das Andenken jenes Forschers durch ein Denkmal an den Ufern des Neckars ehrte.

Die Energiequellen der Natur schienen in der Mitte des Jahrhunderts durch Dampf-, Wasser- und Windkraftmaschinen in die einzig möglichen, bleibenden Formen gefaßt, aus welchen rastlose Arbeitskraft den Stätten des menschlichen Fleißes, dem Flügelroß des Verkehrs in reichlicher Fülle zugeführt werden konnte. Dankbar müssen wir es darum erkennen, daß uns das letzte halbe Jahrhundert zwei neue wertvolle Formen der Energie in der Gaskraft- und der elektrischen Maschine beschert hat.

Eine fast übermenschliche Aufgabe scheint es, das Flammenmeer explodierender Gase in geregelte Bahnen zum Frondienst der Arbeit zu lenken. Und doch ist sie heute glänzend gelöst und lohnt uns durch reichen Gewinn: die

Digitized by Google

früher nutzlos vergeudeten Gichtgase aus eisenerzeugenden Hochöfen treiben heute mit vieltausendpferdigen Maschinen die Walzenstraßen, aus deren pressender Umarmung die sprühenden Eisenwege des Verkehrs hervorschießen.

Wertvoller noch erwies sich die elektrische Kraft. An der Scheidegrenze der Jahrhunderte, die Schillers Genius verherrlicht, erschloß sich dem Menschen eine neue bis dahin unbekannte Naturkraft: der elektrische Strom. Volta erzeugt ihn zuerst mit chemischen Mitteln, Oersted entdeckt seine magnetische Kraft. Zwei deutsche Gelehrte, Gauß und Weber, tragen die magnetische Wirkung zum Dienst in die Ferne, doch erst dem unberührten Geiste des Amerikaners Morse erschließt sich die volle praktische Tragweite dieser Erfindung. Er wird der Schöpfer der Welt-Telegraphie. Damit verläßt die Elektrizität die engen Räume des Laboratoriums und tritt einen Siegesflug ohne gleichen an, der den Zeiger der Kultur um Jahrtausende mit sich reißt. Nur ein Menschenalter vergeht, und schon am Ende des Jahrhunderts streift die Telegraphie die Fessel des Drahtes ab, sie schwingt sich frei durch die Luft, getragen von neuer Erkenntnis, die Heinrich Hertz uns deutet, Marconi als erster erfinderisch gestaltet.

Die Palme müssen wir aber reichen jener herrlichen Erfindung, welche vor vier Dezennien begann, die tiefsten Furchen durch unsere Kultur zu ziehen: der elektrischen Maschine. Nicht unvermittelt ward uns diese Gabe zuteil. Wir danken sie jener selbstlosen Forschung, die auch wir in unserer auf nützliche Verwertung gerichteten Gedankenwelt stets als die edelste Blüte menschlicher Geistesarbeit bewundern. Wiederum aus dem jungfräulichen Boden des Volkes erwuchs uns der Genius, der das gesetzmäßige Walten der Natur erkannte: Michael Faraday. Er erzeugte zuerst elek-

Digitized by Google

trische Ströme durch einfache Bewegung und baute die Brücke aus dem Reich der mechanischen Kräfte in die Welt der elektrischen Erscheinungen. Er öffnete damit das breite Tor, durch welches die Maschinenelektrizität, die Elektrotechnik, in unsere Kultur einzieht.

Doch noch ein weiter Weg war zu durchmessen, ehe es gelang, die Entdeckung nutzbringend zu verwerten. In Deutschland knüpft sich die Erfindung der elektrischen Maschine an den ruhmvollen Namen Werner von Siemens, dem durch sichere Beherrschung des Energiegesetzes die restlose Umwandlung mechanischer Arbeit in die elektrische Form zuerst gelang. Die deutschen Ingenieure zählen ihn mit Stolz zu den ihrigen und haben sein unvergängliches Verdienst zugleich mit dem des Erweckers der deutschen Stahlindustrie, Alfred Krupp, durch ein Denkmal vor dem Monumentalbau jener technischen Bildungstätte geehrt, die uns morgen gastlich empfangen will. Der Strahl des elektrischen Lichtes erhellt unsere Nächte und schafft dem Arbeiter edlere Daseinsbedingungen. Unerschöpfliche Ströme von Energie leitet die Elektrizität in seine Hände, und wenn der ermattete Arm mit der Sonne des Tages zu wohlverdienter Ruhe sich senkt, ergreifen im Glanz der elektrischen Sonne neu belebte Scharen die Zügel der Kraft, um in den Zeiten heißen Wettbewerbes auf dem Weltmarkt die deutsche Industrie zum Siege zu führen. In alle Gewerbzweige rinnt heute der elektrische Strom, und wir schauen bereits im Geiste die Zeit, wo die belebende Kraft in tausend und aber tausend Kanälen sich weit über das Land ergießt und auch dem erschöpften Acker wieder reichere Ernten verheißt.

So sehen wir am Ende eines halben Jahrhunderts die Ziele und Aufgaben des Ingenieurs fast unermeßlich erwei-

Digitized by Google

tert. Aber nicht in gleichem Schritt wuchs die Anerkennung, welche der gebildete Teil unseres Volkes der schaffenden Ingenieurtätigkeit entgegenbrachte. Ihrem natürlichen Emporwachsen aus dem Handwerk haftete noch lange der Bodengeruch körperlicher Arbeit an, die von der ausschließlich geistig erzogenen herrschenden Klasse zwar geschätzt und verwertet, aber nicht als ebenbürtig anerkannt wurde. Aus dem geschilderten organischen Zusammenwachsen von tiefgründiger Forschung und schöpferischer Bildungskraft war aber ein neuer Beruf entstanden, seiner Bedeutung für das Leben der Zeit sich völlig bewußt, und nach verdienter Gleichwertung strebend. Der Ingenieurberuf ist zwar eine praktische Tätigkeit, aber von echt wissenschaftlichem Geiste durchdrungen, eine zur Wissenschaft gewordene Technik, welche auf den geistigen Höhen der Menschheit hinter den andern Schwestern auch nicht mehr um eine Stufe zurückstehen will.

Der ethische Gehalt dieses Berufes hat den Vergleich mit anderen niemals zu scheuen. Wer hat mehr getan für die Befreiung des Menschen von körperlicher Arbeit und damit Sinne und Herzen frei gemacht für höhere geistige Aufgaben? Die größte ethische Tat eines Volkes, welche die Weltgeschichte kennt: die soziale Gesetzgebung Kaiser Wilhelms des Großen — wer hat sie verständnisvoller aufgenommen und williger getragen als die deutsche Industrie? Der deutsche Ingenieur hat damit den Beweis erbracht, daß auch sein Beruf durchgeistigt wird von den großen Gedanken christlicher Ethik.

Und wer hat schließlich der Kultur unserer Zeit tiefer seinen geistigen Stempel aufgeprägt als der Ingenieur? Schauen wir uns um in der wirklichen Welt. Welche Fülle von Luft und Licht und Reinlichkeit erfüllt heute die Stätten,

Digitized by Google

wo der Erwerbsinn die Menschheit zusammendrängt und wo ehedem mörderischer Pesthauch blühendes Menschenleben vernichtete! Blicken wir hinaus in die herrliche Natur, die heut auch dem Minderbegüterten offen steht und mit ihrer erhabenen Schönheit eine Ahnung göttlichen Waltens im Herzen der Menschen erweckt! Und endlich: vergessen wir nicht, daß mit dem eilenden Dampfroß, das Felsen durchbricht und Meere überbrückt, nicht bloß die schwere Last des Kaufmannes, sondern auch ideale Güter, geistiges Leben, lichte Gedanken und damit Kultur und Gesittung weit über den Erdball getragen werden. Wahrlich auch unser Beruf, richtig erfaßt, ist reich an idealem Gehalt!

Die Geschichte unseres Vereines zeigt das Ringen des deutschen Ingenieurs um seine soziale Stellung. Schon vor 20 Jahren erhob er die Forderung der Gleichwertung seiner Berufsarbeit mit dem aus sieghafter Überzeugung fließenden Ausspruch: „daß die deutschen Ingenieure für ihre allgemeine Bildung dieselben Bedürfnisse haben und derselben Beurteilung unterliegen wollen wie die Vertreter der übrigen Berufszweige mit höherer wissenschaftlicher Ausbildung."

Der erstarrte Idealismus einer abgeklungenen Kulturperiode verschloß sich in Deutschland hartnäckig der Aufnahme neuer Keime aus dem stets sich verjüngenden Boden der Zeit.

Da erstand uns der Befreier, wo die Welt ihn am wenigsten vermutete. Von der Höhe des Thrones erklang an der Jahrhundertwende das erlösende Wort, welches den Aufstieg frei machte zu den geweihten Höhen der Wissenschaft, frei für alle, die auch in unserer Geisteswelt sich um das Banner „Excelsior" scharen.

Wem schlagen darum in der heutigen Stunde die Herzen stürmischer entgegen als unserm Kaiser? Er gab uns

Digitized by Google

Bürgerrecht und Freibrief in der Welt des höchsten geistigen Lebens, er erhob uns zu vollwertigen Mitkämpfern für die Größe des Vaterlandes und erteilte der aufblühenden Wissenschaft des Ingenieurs in ihren tiefsten Wurzeln neue ideale Impulse. Es wird immerdar als eine segensreiche Fügung gepriesen werden, daß in einer Zeit, wo die schaffenden Kräfte des Volkes zur Sonne drängten, auf der Höhe des Thrones ein Mann erstand, der unbefangen und regsamen Geistes den vollen Wert dieser Kräfte ermaß.

Tief ruht der Dank dafür im Herzen jedes deutschen Ingenieurs; in der heutigen weihevollen Stunde, die mit dem Jubelfeste unseres Vereines zugleich die erste Epoche einer neuen Kulturentwicklung feiert, drängt er sich begeistert auf unsere Lippen. Der deutsche Ingenieur weiß sich frei von Byzantinismus: in dieser Stunde will er aber öffentlich Zeugnis ablegen von dem tiefen Gefühl, das ihn beseelt.

In einer Zeit, die dem Ingenieur den idealen Lohn seiner Arbeit versagte, schuf er sich selber ein Zeichen des Dankes in Form einer goldenen Denkmünze mit dem Bildnis Grashofs geprägt: In Ehrfurcht und Begeisterung bringen wir sie heut unserm Kaiser dar. Von Künstlerhand entworfen, zeigt sie Sein eigenes Bild und die Idealgestalt unserer Wissenschaft, die den Lorbeer des Dankes reicht. Wenn je, so sind wir heute Ihrer begeisterten Zustimmung sicher, die sich Bahn bricht in dem jubelnden Zuruf: Seine Majestät unser allergnädigster Kaiser, er lebe Hoch, Hoch, Hoch!

Digitized by Google

3.

Otto von Guericke, der erste deutsche Ingenieur.*)

Einer von den großen Forschern, die über bayrischen Boden gewandelt, -- Justus von Liebig -- klagte einst, daß die große Masse der Menschen keinen Begriff davon habe, mit welcher Schwierigkeit Arbeiten verknüpft sind, die das Gebiet des Wissens tatsächlich erweitern. Der im Menschen liegende Trieb nach Wahrheit allein reiche nicht aus, die Hindernisse zu überwältigen, wenn sich dieser Trieb in dem Einzelnen nicht zur mächtigen Leidenschaft steigerte.

Wie einfach gestaltet sich gerade die Anwendung seiner großen Erfindung, welche die Fruchtbarkeit des Bodens verdoppelt, in den Händen des Landmanns. Wer von diesen aber kennt seine jahrelange mühevolle Experimentierarbeit, wer weiß von den vielen schlaflosen Nächten des Forschers, in denen langsam die Erkenntnis der Gesetze reifte, die das Wachstum der Pflanze beherrschen!

Mehr oder weniger trifft dies auf jede bahnbrechende Forschung in den Naturwissenschaften zu. Auf anderen Gebieten geistigen Schaffens pflegen wir uns im Gegensatze

*) Festvortrag aus Anlaß der Grundsteinlegung des Deutschen Museums in München gehalten im Wittelsbach-Palais am 13. Nov. 1906.

Digitized by Google

hierzu mit besonderer Liebe gerade in den Entwicklungsgang großer Gedanken zu vertiefen und suchen das Werden der Meister im Lichte ihrer Zeit zu verstehen. Das Museum, dessen Grundstein wir heut gelegt haben, soll dem deutschen Volke auch seine großen Forscher und Finder, seine Dichter und Denker auf naturwissenschaftlichem Gebiete menschlich näher bringen, soll Achtung und Ehrfurcht wecken vor der Glut der Begeisterung, welche leidenschaftlich auch in ihren Herzen geglüht und an der sich das große Licht entzündet hat, in dessen Glanz unsere heutige Kultur dahinschreitet.

Es ist ein deutsches Museum, und in erster Linie dazu bestimmt, den Anteil deutscher Geistesarbeit an den großen Taten der Naturforschung darzustellen und ihre Dokumente für die Nachwelt zu sammeln. Man hat die deutsche Eigenart allzulange lediglich in philosophischer Vertiefung erblickt und den deutschen Michel, im Auslande sogar mit sichtlichem Behagen, alle Vorzüge einer träumerischen Denkart angedichtet. Das letzte halbe Jahrhundert hat der Welt ein anderes Bild entrollt: in seinem blanken Waffenschilde sehen wir heut die Strahlen einer neuen Kultursonne mit verstärktem Glanze sich wiederspiegeln.

Die wahre Eigenart deutschen Geistes ist richtig gekennzeichnet durch eine Doppelnatur: philosophische Vertiefung gepaart mit schöpferischer Bildungskraft. Keine von beiden kann die Forschung entbehren. „Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d. h. eine philosophische Idee vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln einer Kinderklapper zur Musik“ ist ein anderes Wort Liebigs, und fast alle großen deutschen Forscher haben am Ende ihres Lebens die Art ihres Schaffens in ähnlicher Weise geschildert.

Digitized by Google

Otto von Guericke.

Digitized by Google

Chamberlains geistvolle Beredtsamkeit hat sie in die Worte geprägt: „Das Bild in unserm Hirn wird nicht von außen beleuchtet, um es genau zu erblicken, muß innerlich eine helle Fackel angezündet werden."

Auch der Mann, den ich zum Gegenstande des heutigen Vortrages gewählt habe, zeigt uns diese deutsche Eigenart des genialen Forschers. Otto von Guericke hat einen populären Namen in Deutschland; jeder Gebildete kennt ihn als den gelehrten Bürgermeister von Magdeburg, der in der schweren Zeit des 30jährigen Krieges die Geschicke seiner Vaterstadt lenkte. Jedes Kind hört in der Schule von den magdeburgischen Halbkugeln, und das Bild der unter Peitschenhieben sich bäumenden 16 Rosse, die sich bemühen, sie auseinanderzureißen, hat sich unserm jugendlichen Geiste unvergeßlich eingeprägt. Viele erblicken aber in dem interessanten Experiment kaum mehr als eine Zufallserfindung, eine wissenschaftliche Spielerei, die der kluge Bürgermeister den hohen Herren und vielbeschäftigten Diplomaten auf dem Regensburger Reichstage zur Ergötzung nach reichlichem Mahle, vielleicht als eine captatio benevolentiae für das schwer geprüfte Magdeburg vorzuführen für gut befand. Was aber wissen die meisten von der gewaltigen Forschungstat jenes Mannes, der über den wichtigsten irdischen Stoff, der uns umgibt, ohne den wir nicht leben und atmen können, uns zuerst grundlegende Wahrheiten gelehrt, der uns gezeigt hat, daß wir mit seiner Körperlichkeit die Eigenschaften des Druckes und der Elastizität zu verbinden haben.

Von den Lebensschicksalen des seltenen Mannes wissen wir nicht allzuviel, seine Aufzeichnungen sowie sein ausgedehnter Briefwechsel mit anderen Forschern gingen in einem Streit seiner Enkel verloren. Als Sohn einer wohlhabenden Magdeburgischen Patrizierfamilie wurde er im

Digitized by Google

Jahre 1602 geboren. Sein Vater war lange Jahre in polnischen Diensten als Gesandter in Moskau und Konstantinopel, sein diplomatisches Talent scheint der Sohn von ihm geerbt zu haben. Er genoß eine sorgfältige Erziehung und vervollständigte diese auf den Universitäten in Leipzig, Helmstedt, Jena und Leyden, sowie durch Reisen in Frankreich und England. Mit Vorliebe betrieb er neben der Jurisprudenz die Naturwissenschaften und machte sich den Wissensstoff, den die im 16. Jahrhundert neu aufblühende Forschung gezeitigt hatte, im ganzen Umfang zu eigen. Der Ingenieurwissenschaft, die damals in den Vorlesungen über Festungsbaukunst an den Universitäten gelehrt wurde, scheint aber sein Hauptstudium gegolten zu haben, denn in seiner Vaterstadt bekleidete er nach Vollendung desselben 1627—31 die Stelle eines Ratsbaumeisters. Als solcher erlebte er die furchtbare Katastrophe, die über seine Vaterstadt hereinbrach. An der Befestigung der Stadt hatte er regen Anteil. Daß seine Maßnahmen zweckentsprechende waren, beweisen die zahlreichen mit Erfolg zurückgewiesenen Sturmversuche des kaiserlichen Heeres. Bekanntlich fiel Magdeburg durch die Uneinigkeit seiner Bürger und durch eine List Tillys, der angesichts des heranrückenden schwedischen Entsatzes zum Aufgeben der Belagerung gezwungen, die Kanonade einstellen und den Abmarsch vorbereiten ließ. Zugleich fanden Friedensverhandlungen im Rathause statt. In freudiger Stimmung verließen die ermatteten Bürger zum großen Teil die Wälle und gaben sich der langentbehrten Ruhe hin. Dies hatte Tilly vorausgesehen und in früher Morgenstunde gelang es ihm, durch einen unvermuteten letzten Sturm die schwach besetzten Fortifikationen zu nehmen. Bis zum letzten Augenblicke war Guericke im Rathaus tätig, bei dem Alarm der Türmer stieg er zu Pferde und versuchte an den

Digitized by Google

Toren die zurückweichenden Bürger wieder vorwärts zu treiben. Erst als er sah, daß alles rettungslos verloren war, eilte er nach seinem Hause, das er von plündernden Kroaten gefüllt fand. Sein bereits blutendes jüngstes Kind entriß er den rohen Händen und erkaufte das nackte Leben der Seinen durch Auslieferung aller Barmittel, die er in seinem Hause verwahrt hatte. Von allem entblößt verließ er die Stadt und suchte Schutz in dem Lager der Feinde. Er selbst erzählt, daß ihm ein kaiserlicher Offizier für die Reparatur seiner Taschenuhr, vermutlich eines Beutestückes, einen Dukaten schenkte, wofür er sich und seine Familie notdürftig bekleiden konnte.

Seine blühende reiche Vaterstadt war in einen rauchenden Schutthaufen verwandelt, mehr als 20 000 Einwohner waren niedergemacht oder in den Flammen umgekommen, nur etwa 140 elende Fischerhäuser am Strande der Elbe neben wenigen steinernen Gebäuden waren verschont geblieben. An eine Rückkehr war deshalb zunächst nicht zu denken. Um Brot für die Seinen zu schaffen, trat er in schwedische Dienste und war zwei Jahre lang als leitender Ingenieur bei den Festungsbauten in Erfurt beschäftigt. Sobald aber in seiner Vaterstadt die ersten Keime eines neuen Gemeinwesens sich regten, eilte er zurück, um sich ganz in den Dienst desselben zu stellen. Nach seinen Plänen ging man an die Wiederaufrichtung der Stadt, die er zweckmäßiger und herrlicher erstehen lassen wollte. Im Jahre 1646 zum regierenden Bürgermeister erwählt, ward ihm die Aufgabe zuteil, die Interessen der Stadt bei den Friedensverhandlungen in Münster und Osnabrück wahrzunehmen. Es gelang seinem diplomatischen Geschick, wichtige Vorteile, unter anderen die Anerkennung der Reichsunmittelbarkeit der Stadt, zu erzielen. Zwar ging in den langjährigen Verhandlungen, die

Digitized by Google

sich an die Ausführung der Friedensbeschlüsse knüpften, dieser Vorteil wieder verloren und die Stadt kam in kurbrandenburgischen Besitz. Wenn man die viele hundert von Folioseiten umfassenden Berichte, welche er von seinen zahlreichen Missionen an den Rat gesandt und die heute noch im Archiv der Stadt aufbewahrt werden, durchliest, kann man sich der Bewunderung nicht verschließen für die Beharrlichkeit und weltmännische Gewandtheit, mit der er die geringen Aussichten der Stadt für ihre mit Hartnäckigkeit verfolgten Großmachtsbestrebungen gegen einflußreiche Gegner verteidigte. Es könnte auffallen, daß er im Jahre 1666 endlich selbst seine gewichtige Stimme dafür einsetzte, die Stadt mit Kurbrandenburg zu vereinigen. Wir dürfen annehmen, daß sein weitblickender Geist schon damals in dem unter dem großen Kurfürsten neu aufstrebenden Staate die Kraft erkannte, für alle norddeutschen Interessen dereinst als Rückgrat zu dienen und die Überzeugung gewann, daß Handel und Wandel seiner Vaterstadt unter dem Schutz eines mächtigen Staatswesens schneller zu seiner alten Blüte gelangen konnte.

Aber nicht seine politische Bedeutung war es, die ihm die allgemeine Anerkennung verschaffte und seinen Namen schon zu seinen Lebzeiten zu einem weltberühmten machte. Es war die Bewunderung für den Glanz seiner wissenschaftlichen Forschung, die Ausdruck fand in der Verleihung des Reichsadels und dem Titel eines kurbrandenburgischen Rates. Nach 40jähriger aufopferndster Tätigkeit legte er sein Amt als Bürgermeister nieder, um die letzten Jahre im Hause seines Sohnes in Hamburg nur noch seiner Forschung zu leben. Er schied nicht in Frieden von seiner Vaterstadt. In den politisch bewegten Zeiten hatte ihm die Stadt für seine ausgezeichneten Dienste die Befreiung von allen bürgerlichen

Digitized by Google

Lasten für sich und seine Nachkommen bewilligt. Aus kleinlichen Sparsamkeitsrücksichten suchte man später diese Anstandspflicht zu umgehen. Seine äußeren Verhältnisse waren nach damaligen Begriffen glänzend zu nennen, denn er hatte die Liegenschaften seiner Väter durch kluge Wirtschaft ertragfähig gemacht. Er hätte die wenigen hundert Taler, um die es sich handelte, sicherlich leicht verschmerzen können, aber sein Rechtsgefühl lehnte sich dagegen auf, verstärkt durch die Erbitterung über die ihm widerfahrene Undankbarkeit. Erst nach seinem Tode wurde der Streit zugunsten seiner Nachkommen vom Kurfürsten geschlichtet. Wir dürfen wohl annehmen, daß dasselbe Gefühl ihn veranlaßt hatte, seine Vaterstadt zu verlassen. Der gleiche Unstern waltete auch über seinem Tode im Jahre 1686. In der ersten Aufwallung eines berechtigten Gefühls beschloß der Rat, seine körperliche Hülle nach Magdeburg überzuführen und feierlich beizusetzen. Dies unterblieb, man weiß nicht, aus welchem Grunde, und über den Ort, wo sein Leichnam ruht, herrscht heute noch völliges Dunkel. Die Nachwelt hat einen Teil der Schuld abzutragen versucht: Im Rathaus zu Magdeburg steht seine Büste und die Stadt rüstet sich jetzt, sein Standbild, von Echtermeier entworfen, auf einem öffentlichen Platz in Magdeburg zu errichten. So viel über die äußeren Lebensschicksale des Bürgermeisters von Magdeburg, wir wenden uns jetzt zu dem Forscher und Erfinder.

Seine Gestalt hebt sich in scharfen Umrissen ab auf dem Hintergrund des für die Entwicklung der Wissenschaften so bedeutsamen 17. Jahrhunderts. In diesem vollzieht sich der endgültige Bruch mit der aristotelischen Scholastik. Es ist als ob ein Riese die Ketten sprengt, mit welchen man ihn im Schlaf gefesselt hatte. In dem Auftreten eines Roger Baco, eines Leonardo da Vinci, eines Kopernikus sehen wir

Digitized by Google

die ersten Zuckungen neu erwachenden Lebens. Galilei und Torricelli in Italien, Descartes und Pascal in Frankreich, Boyle mit Newton in England und Kepler, Leibniz und Guericke in Deutschland erschließen mit Titanenkraft eine neue ungeahnte Gedankenwelt.

Guericke kam zuerst in Leyden, wo er intensiv die Naturwissenschaften betrieb, in den Bannkreis dieser Forschung. Während seines ganzen langen sturmbewegten Lebens blieb sie seine treue Begleiterin und erhob ihn aus den Widerwärtigkeiten, in die seine amtliche Stellung ihn verwickelte. Über den Zeitpunkt, in welchen seine bedeutendste Erfindung, die Luftpumpe, fällt, sind wir im Unklaren, es scheint etwa die Mitte des Jahrhunderts zu sein. Erst an der Schwelle des Greisenalters fand er Muße, einen Bericht über seine wissenschaftliche Lebensarbeit niederzuschreiben. Wir ersehen daraus wohl seine Gedanken, können sie aber chronologisch nicht ordnen. Eine besondere Eigenart seiner Natur tritt indes deutlich hervor, eine Eigenart, die wir bei seinen gleichstrebenden Zeitgenossen vergeblich suchen: Das Bestreben und die Fähigkeit, neu erworbene wissenschaftliche Erkenntnis in praktische Tat umzusetzen, Gedanken durch Mechanismen schöpferisch zu verwirklichen. In dieser Hinsicht ist er nur mit Leonardo da Vinci zu vergleichen, mit dem er auch die Fähigkeit teilt, seine Erfindungen zeichnerisch anschaulich darzustellen. Die von ihm noch erhaltenen Risse, sowie die perspektivischen Skizzen zu seinem Werk mit ihren landschaftlichen Hintergründen sind sogar nicht ohne künstlerischen Reiz. Auch in der praktischen Ausführung seiner Apparate und Maschinen, zumeist von eigener Hand, zeigt sich ein für die damalige Zeit hochentwickeltes technisches Können. Wir dürfen ihn mit Fug und Recht den ersten deutschen Ingenieur

Digitized by Google

nennen, umsomehr, als er sich selbst so bezeichnet, denn auf einem kunstvollen Astrolabium, das er, mit einem Schreibzeug vereint, einem einflußreichen Diplomaten verehrte, findet sich die gravierte Inschrift: „Fait par O. de Guericke, Ingénieur à Magdebourg," und in dem Begleitschreiben zu seinem Geschenk die stolze Äußerung: man könne es nirgends käuflich erwerben.

Die Beschäftigung mit astronomischen Fragen, durch die Forschungen Keplers neu belebt, nahm wohl zuerst seine Sinne gefangen. In klaren Nächten betrachtete er den unermeßlichen Himmel und den mit unzähligen Sternen erfüllten Raum. Was war der übrige Inhalt dieses unendlichen Raumes? Philosophische Gedanken führten ihn zu der Vernunftvorstellung einer absoluten Leere. Aber sein an der modernen Forschung geschulter Verstand diktierte ihm die Worte in die Feder: „Ein Beweis, der auf Erfahrung beruht, ist jedem aus Vernunftschlüssen gezogenen vorzuziehen." Von nun an war sein unablässiges Sinnen und Trachten darauf gerichtet, durch künstliche Mittel einen luftleeren Raum zu erzeugen und damit die Möglichkeit seines Vorhandenseins im Weltenraum zu erweisen.

Bezeichnend für seine Forschung ist die Reihe planvoller Experimente, die er begann. Zuerst füllte er ein wohlgefugtes und festverspundetes Weinfaß mit Wasser und versuchte, dasselbe daraus zu entfernen mit einer Wasserspritze, „wie man sie bei Bränden benutzte". Dazu bedurfte sie aber einer konstruktiven Änderung, er versah sie mit zwei Ventilen, einem Sauge- und einem Druckventil. Doch die Bänder und eisernen Schrauben, mit denen er sie am Fasse befestigte, rissen eher, als daß das Wasser dem Kolben gefolgt wäre. Durch Verstärkung der Befestigung wurde dieser Übelstand beseitigt. Drei starke Männer, die an dem Stempel

Digitized by Google

der Spritze zogen, vermochten nunmehr, das Wasser durch das Saugventil herauszuschaffen. An allen Teilen des Fasses hört er ein Geräusch, als wenn das Wasser heftig kochte und findet nach mühevoller Arbeit, daß Luft durch die Poren des Holzes eingedrungen war. Nun stellte er das zu entleerende Faß in ein größeres und füllte dieses gleichfalls mit Wasser. Es gelang, aus dem kleinen Fasse das Wasser zu entfernen, an dessen Stelle ohne Zweifel ein leerer Raum entstand. Aber auch hier blieb die Enttäuschung nicht aus. „Als nach Ablauf des Tages mit der Arbeit aufgehört wurde und alles ringsum still geworden war," so schreibt er, „vernahm man einen wechselnden von Zeit zu Zeit unterbrochenen Ton, ähnlich dem eines leise zwitschernden Singvogels." Dies dauerte fast drei volle Tage. Als er darauf die Mündung des kleinen Fasses öffnete, fand er dasselbe wieder mit Luft und Wasser gefüllt. Scharfsinnig zog er die richtige Schlußfolgerung: Das unter starkem Druck befindliche Wasser dringt durch die Poren des Holzes. Das Wasser selbst enthält Luft, die bei der starken Eintrittsreibung daraus befreit wird. Er verläßt nunmehr das Holz wegen seiner Porosität und experimentiert mit einer großen Kupferkugel. Kräftige Männer arbeiten an der Wasserpumpe und schon glaubt er das Werk vollendet — da tritt ein unerwarteter Zwischenfall ein: Die Metallkugel wird plötzlich mit lautem Knall zerdrückt, sowie man ein Tuch zwischen den Fingern zusammenballt, oder als ob die Kugel von einem Turm mit heftigem Aufprall herabgeworfen wäre. Richtig folgert er abermals: Die Kugel wurde von der äußeren Luft zusammengedrückt, weil sie nicht völlig rund war. Eine genau gearbeitete Kugel hätte, der Übereinstimmung aller Teile halber, die sich beim Widerstandleisten unterstützen, den Druck der Luft aushalten müssen. Eine neue, sorgfältiger gearbeitete Kugel wird her-

Digitized by Google

gestellt, jetzt endlich glückt das Experiment: Ein wirklich leerer Raum entsteht, denn aus dem Druckventil der Spritze entweicht weder Wasser noch Luft.

Nach einigen Tagen füllte sie sich aber wieder mit Luft, welche an dem Kolben der Spritze sowie an den Ventilen und Hähnen langsam eindrang. Durch konstruktive Maßnahmen, deren technische Vollendung noch heute nicht überboten ist, gelang es ihm mittels Flüssigkeitsdichtung auch dies zu beseitigen. Zugleich hatte er erkannt, daß seine Pumpe nunmehr auch ohne Wasserfüllung des Rezipienten direkt die Luft herausschaffen konnte. Seine Erfindung war vollendet. Nur unwesentliche Zutaten brachte die weitere Entwicklung, so beispielsweise einen sinnreich erdachten Hebelmechanismus zur Erleichterung der Pumparbeit. Zu dieser Erfindung wurde er veranlaßt durch den Wunsch seines allergnädigsten Herrn, des Kurfürsten von Brandenburg, der die Regensburger Versuche, an denen er nicht teilgenommen, in Berlin sehen wollte. Wegen der Transportschwierigkeiten konstruierte er diese leichtere Maschine.

Ich habe seine ersten Experimente etwas ausführlicher dargestellt, weil sie uns die Eigenart seiner Forschung zeigen: Liebevolle Betrachtung der Natur versenkt seinen Geist in Meditationen, aus denen die Idee eines luftleeren Raumes entspringt. Sie krystallisiert in seinem Hirn zu einer bestimmten Theorie der Luft und mit einem erstaunlichen Aufwand von Experimenten sucht er sie zu stützen. Er zwingt die Natur, sich in bestimmten Erscheinungen zu äußern und betrachtet diese in dem hellen Licht der in seinem eigenen Hirn entzündeten Fackel. Zahlreiche andere Experimente folgen, deren Erörterung nur an der Hand von Zeichnungen möglich wäre. Sie alle bestätigen seine vorgefaßte Theorie. Nun erst spricht er sie aus in folgenden lapidaren Sätzen:

Digitized by Google

„Die Luft ist ein körperliches Etwas, die Wärme dehnt sie aus, die Kälte verdichtet sie; sie läßt sich zusammendrücken, doch haben Verdichtung und Verdünnung praktische Grenzen. Die Luft besitzt Gewicht und drückt sich selbst, sie drückt auf alles. In ihren unteren Schichten wohnt ihr immer etwas Wasserdampf inne, bald mehr, bald weniger, je nach der Beschaffenheit des Wetters. Die Luft verändert die Körper und ist imstande, Wärme und Kälte fortzuführen. Sie nimmt Schall und Geruch auf, wie Feuchtigkeit und Dämpfe. Wunderbares verrichtet sie in beseelten Wesen. Die Geschöpfe umgibt, beschützt, befeuchtet und erfrischt sie durch ihre Bewegung. Um ihr Wohlbefinden herbeizuführen, dringt sie in dieselben ein und erhält infolgedessen das Leben, indem sie das Atmen ermöglicht.“ Endlich folgt die alles über jeden Zweifel erhebende bestimmte faßbare Zahl: „Der Luftdruck ist gleich [dem einer] 20 Ellen hohen Wassersäule“. Eine Forschungstat spricht sich in diesen Sätzen aus, die in der Geschichte der Naturwissenschaften nur ihresgleichen findet in der späteren, ebenso gewaltigen Erkenntnis des Wärmeäquivalentes durch Robert Mayer.

Der drastische Versuch auf dem Regensburger Reichstag mit den sogenannten Magdeburgischen Halbkugeln, die aufeinander geschliffen und luftleer gepumpt nur mit starker Gewalt auseinander gerissen werden konnten, verschaffte seiner Erfindung und seinen Ideen die weiteste Verbreitung. Kaiser Ferdinand III. spricht sich über die an Zauberei grenzenden Versuche mit Enthusiasmus aus. Der Kurfürst von Mainz und Bischof von Würzburg, Johann Philipp, befiehlt den Professoren seiner Universität, sie zu wiederholen und der gelehrte Jesuit Kaspar Schott verfaßt ein eigenes Werk darüber, in welchem er die Gelehrten aller Orten um

Digitized by Google

ihr Urteil bittet. Nun folgt eine Flut von Entgegnungen. Die Schulmeinung der Gelehrten, festhaltend an dem alt überlieferten Wahn vom horror vacui lehnt sich dagegen auf: Wie darf ein Bürgermeister sich unterfangen, sie zu belehren! Glänzend verteidigt sich Guericke, jeden Einwand geschickt widerlegend, aber endlich reißt ihm die Geduld und er fertigt seine Widersacher mit den zwar nicht höflichen, aber erfrischenden Worten ab: „Dieses und anderes Gerede derart zu widerlegen halte ich für überflüssig, denn auf Versuche ist mehr Gewicht zu legen als auf das Urteil der Dummheit, welches immer Vorurteile gegen die Natur zu spinnen pflegt."

Der kurze Zeit vorher angestellte Torricelli'sche Versuch, welcher den Unsinn des horror vacui zuerst widerlegte, war von der Schulwissenschaft ebenso abgelehnt worden. Guericke lernte denselben erst in Regensburg kennen. Seine eigenen Versuche sind wesentlich beweiskräftiger, da sie das allmähliche Entstehen eines luftleeren Raumes deutlich vor Augen führen und die Druckabnahme zu messen gestatten.

Wir dürfen ihn aber auch als den Begründer der wissenschaftlichen Meteorologie bezeichnen. Er zeigte zuerst die Abhängigkeit der Witterungslage von der Stärke des Luftdruckes. An seinem Hause in Magdeburg hatte er ein Wasserbarometer von riesigen Dimensionen angebracht und beobachtete daran das Steigen und Fallen der Wassersäule. Eine kleine hölzerne Figur, semper vivum genannt, die auf der Oberfläche schwamm, zeigte mit dem Finger auf eine an der Glasröhre angebrachte Scala. Einen besonders heftigen Sturm im Jahre 1660 konnte er damit zwei Stunden voraussagen.

Immer wieder führen seine Gedanken ihn zu den kosmischen Vorgängen hinauf, „Wie der Duft der Rose", so

Digitized by Google

schreibt er, „in den unmittelbar anstoßenden Raum ausströmt und zwar nicht ins Unbegrenzte, sondern innerhalb eines gewissen Bereiches ihres Vermögens, so verhält es sich auch mit der Lufthülle der ganzen Erde. Dieselbe dehnt sich nicht ins Unendliche rings um dieselbe aus, sondern erreicht eine Grenze, wo sie aber aufhört, dort fängt notwendigerweise der reine von allem Körperlichen leere Raum an. Denn, wenn die Natur ein annäherndes Vakuum zuläßt, ist auch ein völliges möglich."

Kein Ergebnis der Forschung bleibt ungenützt. Der nur vermeintlich idealere Standpunkt einer Wissenschaftsrichtung, die einzig und allein dem Streben nach Wahrheit ohne Rücksicht auf ihre Anwendung zu dienen wünscht, entspringt nicht selten nur dem Unvermögen, eine neue Erkenntnis in praktisch brauchbare Formen zu gießen. Zum Schaden unseres Volkes hat eine falsche, der Welt und ihrer Wirklichkeit abgewandte Erziehungsmethode allzulange diesen Wahn genährt und die angeborenen Fähigkeiten unseres Stammes zur praktischen Betätigung gewaltsam unterdrückt.

Auch die scheinbar so abstrakte Frage, ob der Schöpfungsgedanke die Möglichkeit eines absolut leeren Raumes zuließe, jahrhundertelang der Tummelplatz philosophischer Betrachtungen, wurde durch Guerickes Forschungstat der unmittelbare Anstoß zur gewaltigsten Umwälzung aller irdischen Verhältnisse, welche die Kulturgeschichte kennt. Denn mit ihr beginnt das Zeitalter der Dampfmaschine.

Guericke selbst hatte sich schon mit dem Gedanken getragen, den Druck der Luft für technische Zwecke nutzbar zu machen.

Huyghens verwirklichte ihn noch zu Lebzeiten Guerickes in einer Wasserhebemaschine, indem er durch Explosion von Schießpulver einen leeren Raum erzeugte, in den der

Digitized by Google

Luftdruck das Wasser emportrieb. Papin, der Schüler von Huyghens, erzeugte als erster den luftleeren Raum durch Kondensation von Wasserdampf und erbaute die erste betriebsfähige Dampfmaschine. Newcomen, Cawley und Savery erschließen damit, unter Bewältigung des Grubenwassers, die ungeheuren Kohlenschätze Englands und begründen dadurch die herrschende Weltmacht ihres Landes. James Watts Erfindergenie gibt ihr die endgiltige praktische Form. Einem deutschen Ingenieur gelang die bahnbrechende Forschungstat, ein anderer Ingenieur führte sie zur technischen Vollendung. An den Stätten der sogenannten reinen Wissenschaft in Deutschland suchte man inzwischen selbstlos aber vergeblich nach Wahrheit.

Eine andere Luft weht heut in unserem Vaterlande. Aus den Laboratorien unserer gelehrten Bildungsstätten, Universitäten und Technischen Hochschulen gehen nützliche Anregungen und Erfindungen jahraus jahrein in Fülle hervor und die im gesamten Volkskörper neuerwachten vorwärtstreibenden Kräfte stehen mit diesen in reger wechselseitiger Befruchtung. Das Aufblühen unserer Industrie hat uns gelehrt, daß auch abseits von den geregelten Bahnen der stetig aber langsam fortschreitenden Schulwissenschaft aus dem urwüchsigen Boden des Volkes lebensfrische Gedanken emporkeimen, an denen wir nicht mehr achtlos vorübergehen. Aus dieser gesunden Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis entspringt heut die Stärke unseres Volkes, in ihrer Weiterbildung liegt die Hoffnung auf unsere Zukunft und in dem deutschen Museum begrüßen wir dazu mit Begeisterung ein neues wertvolles Rüstzeug. —

Wir würden der Bedeutung Guerickes nur unvollkommen gerecht werden, wenn wir seine Forschungen über die Luftleere allein hervorheben wollten. Sein im Jahre 1663 vollen-

Digitized by Google

detes Werk, welches durch den Titel: „Nova experimenta magdeburgica“ seiner geliebten Vaterstadt ein bleibendes Denkmal setzt und das er in dankbarer Bewunderung dem großen Kurfürsten gewidmet hat, enthält eine Fülle von Gedanken, die sich zu einem vollständigen Weltgemälde ordnen. Wenn auch die meisten derselben nur im Lichte der damaligen Zeit gewürdigt werden dürfen, so bleibt doch eine Tat, die heute noch unser reges Interesse erweckt: seine Erfindung der Elektrisiermaschine.

Überaus dürftig und lückenhaft war noch zu Guerickes Zeiten die Kenntnis der elektrischen Erscheinungen der Natur. Von der sagenhaften Entdeckung der Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins bis zum Beginn des 17. Jahrhunderts dehnt sich eine tiefe undurchdringliche Nacht, von keinem Strahl elektrischer Erkenntnis durchzuckt. Es ist, als ob die Sinne des Menschen an anderen Forschungen erst reifen mußten, ehe sie das tiefste Geheimnis der Natur erblicken durften. Mit Gilbert, dem Leibarzt der Königin Elisabeth, beginnt die erste noch tastende Forschung.

Guerickes schöpferische Tat lockt die verborgene Naturkraft heraus an das Licht des Tages und zwingt sie durch Maschinengewalt, sich der Forschung zu fügen. Von seinem konstruktiven Geschick zeugen wiederum die technischen Mittel, mit denen er seine Gedanken verwirklicht. Eine große gläserne Kugel füllt er mit gestoßenem Schwefel, diesen schmilzt er und zertrümmert nach der Erstarrung die gläserne Form. Die durchbohrte Kugel schiebt er über eine eiserne Achse, versieht sie mit Zapfen und Lagern und mit einer Handkurbel gedreht elektrisiert er sie durch Reibung an der aufgelegten Hand. Länger als ein halbes Jahrhundert hat sie in dieser einfachen Form der Forschung gedient, bis sie am Beginn des 18. Jahrhunderts durch die Kleistsche Flasche,

Digitized by Google

die eine Ansammlung der elektrischen Kraft ermöglicht, eine wertvolle Ergänzung fand.

Nicht tatenlos blieb die Maschine in Guerickes Hand, er fand damit zwei neue Gesetze der elektrischen Kraft: ihre Abstoßung und ihre Leitfähigkeit, wichtige Erweiterungen der bahnbrechenden Forschung des englischen Arztes. Aber noch mehr: Ein seltsames Knistern und Leuchten der Kugel nimmt er im Dunkeln wahr und Leibniz, dem er seine Maschine schickt, beobachtet daran zum erstenmale den elektrischen Funken. Noch war der menschliche Geist nicht reif, die ganze Tragweite dieses Wunders und seine technische Bedeutung zu erkennen, mehr als ein volles Jahrhundert verging im eifrigen Suchen und Forschen, bis Galvanis zuckender Froschschenkel von neuem die Aufmerksamkeit auf diese merkwürdige Naturerscheinung lenkte, die Volta zur Quelle des elektrischen Stromes und die Kultur in ihr elektrisches Zeitalter führte. Und abermals hundert Jahre vergingen, ehe von dem Funken die Strahlen des elektrischen Lichtes ausgingen und die kühne Entdeckungsfahrt eines Heinrich Hertz den elektrischen Ozean des unendlichen Raumes der Tatkraft des Menschen erschloß.

So sehen wir, wie Glied an Glied sich fügt zu einer herrlichen Kette, die das von Gott gewollte Forschen der Menschen immer inniger an die erhabenen Gedanken seiner Schöpfung schließt. Dankbar blicken wir heute zurück, denn die starren Gesetze, mit denen menschliche Unduldsamkeit die freie Forschung einst zu knebeln vermeinte, haben sich gelöst zu einem edleren harmonischen Bande. Wir erkennen heut in hellerem Licht eine doppelte göttliche Offenbarung: In der Verstandeskraft und im Gemütsleben des Menschen. In jener wurzelt der Forschungstrieb, in diesem der Glaube. Diese Überzeugung, für welche ein Campanella

Digitized by Google

20 Jahre Kerker erduldet, durfte ein Immanuel Kant ungestraft der Menschheit von neuem verkünden. Unsere erhabensten Denker erfüllte sie mit stiller Begeisterung, und auch der edle und stolze Geist, den wir heute an uns vorübergehen ließen, berührt die Saiten unseres Gemüts, wenn wir seine letzten Gedanken erfahren, die er an den Schluß seines Werkes gesetzt hat: „Erst aus der rechterkannten Schöpfung leuchtet die unaussprechliche Herrlichkeit des Allmächtigen klar hervor, und wenn wir nachts bei heiterem Himmel hinaufblicken in den unendlichen Raum und die Legionen der Sterne betrachten, so schauen wir mit den Augen des Geistes und Körpers zugleich den unsichtbaren Herrn jener Heerscharen, gekleidet in Licht, wie in ein demantstrahlendes Gewand."

Digitized by Google

4.

Ericsson und Hirn,

zwei Typen aus der schaffenden und forschenden Technik des neunzehnten Jahrhunderts.

Von einem der großen Ingenieure Englands, dem berühmten Erfinder des Dampfhammers, Nasmyth, wird folgende Geschichte erzählt:

Einer seiner Vorfahren stand in alten Zeiten während der Streitigkeiten der schottischen Krone mit den mächtigen Douglas auf Seiten des Königs. Nach einem Gefecht, das für die Anhänger des letzteren unglücklich ausgefallen, flüchtete er in eine Dorfschmiede, und da die Douglas-Reiter ihn verfolgten, warf er rasch den Panzer ab, band ein Schurzfell um und schlug mit einem mächtigen Hammer auf das glühende Eisen, das auf dem Amboß lag. Da erschienen die Douglas-Reiter und erkannten in dem ungeschickten Arbeiter ihren Feind. „You are nae smyth!“ riefen sie ihm zu und wollten ihn ergreifen. Dieser aber schlug mit seinem Hammer den Anführer zu Boden und drang auf die Reiter ein, die bald nach allen vier Winden zerstoben. Um die Schmiede sammelten sich neue Streiter, der Waffenklang lockte die Flüchtigen zurück und ein erneuter Kampf endete mit der völligen Niederlage der Rebellen. Zum Dank dafür wurde der Vorfahr in den Ritterstand mit dem Namen Nae-

Digitized by Google

smyth erhoben und ihm ein Wappen verliehen, auf welchem sich zwischen zwei Hämmern mit zerbrochenen Schäften ein Schwert befand. Die Inschrift lautete: Non Arte sed Marte! Nach vielen Jahren änderte der berühmte Nachkomme jenes Douglas-Streiters, der Erfinder des Dampfhammers, der „Vulkan des neunzehnten Jahrhunderts", das alte Familienwappen. An die Stelle des Schwertes setzte er den Dampfhammer, die Umschrift aber ward: Non Marte sed Arte!

Der Sinn, der in dieser kleinen Geschichte zum Ausdruck kommt, ist bezeichnend für die geänderte Wertschätzung, welche die Neuzeit einzelnen Tätigkeitsgebieten des Menschen entgegenbringt. Nicht nur im heldenmütigen Kampf für König und Vaterland, im Waffenklang und Donner der Feldschlacht, ist Ruhm und Ehre zu erwerben, auch der Sieg mit den Waffen des Friedens adelt heute den Menschen, mag er errungen werden mit dem dröhnenden Hammer der Werkstatt oder in stiller Gelehrtenstube; die friedliche Eroberung des Könnens und Wissens öffnet heut ebenso gut den Weg auf die „sonnigen Höhen der Menschheit", wo diejenigen weilen, vor denen wir uns bewundernd neigen.

Zwei solcher Helden der friedlichen Arbeit sind es, deren Gedächtnis mein Vortrag gewidmet ist: John Ericsson und Gustav Adolf Hirn. Nicht ohne innere Berechtigung darf ich gerade diese beiden Männer zusammenstellen. Ihre lange Lebenszeit füllt fast den Zeitraum des Jahrhunderts und ihre Taten sind ruhmreiche Zeugen für den großartigen Aufschwung der Ingenieurwissenschaften dieser Zeit. Und doch wurzeln ihre Anschauungen in zwei verschiedenen Sphären, getrennt durch jenes große Naturgesetz, mit dessen Erkenntnis um die Mitte des Jahrhunderts ein neues Zeitalter der Naturwissenschaften anhebt.

Digitized by Google

Digitized by Google

J. Ericsson

Digitized by Google

Jenseits, noch im ungewissen Dämmerschein des kommenden Tages bahnt Ericsson sich den Weg durch unbekannte Gebiete, wie ein verwegener Reitergeneral bald hier, bald dort sein siegreiches Panier entfaltend. Im hellen Morgenschein des Lichtes der andere, einem weisen Generalstabschef vergleichbar, der, an Körper hinfällig, in einsamer Stille weitschauende Pläne erwägt, während jugendmutige Scharen das klar bezeichnete Ziel im Sturm erobern.

Beiden hat die Vorsehung ein hohes Alter vergönnt und Beiden hat der Strahlenkranz des Ruhmes die Stirn gekrönt, noch ehe sie die Schwelle des Greisenalters betraten.

Ende der dreißiger Jahre des Jahrhunderts landete in New-York an Bord eines englischen Dampfers John Ericsson, ein mittelloser, ehemaliger schwedischer Offizier. „Wieviel Millionen Dollar," so fragte 40 Jahre später eine amerikanische Zeitung, „repräsentierte der ideenreiche Kopf dieses Mannes, als er den Boden seines neuen Vaterlandes betrat?" Mit königlichen Ehren wurde in diesen Tagen seine sterbliche Hülle auf Staatskosten übergeführt in sein Heimatland und ein ganzes Volk grüßte in stummer Ehrfurcht den großen Toten, für dessen Tatkraft die Grenzen seines Vaterlandes sich als zu eng erwiesen hatten.

Nicht seltener und geringer waren die Ehren, die auf Gustav Adolf Hirn sich häuften. Der Baumwollspinner des Elsaß, dessen industrielle Tätigkeit naturgemäß auf Erwerb gerichtet war, wurde aufgenommen unter die Zahl der Unsterblichen des Institut de France, er wurde gefeiertes Mitglied der gelehrten Akademien, welche im Allgemeinen bekanntlich „die praktische Anwendung der Wissenschaft, ihre Dienstbarmachung für technische Zwecke als außerhalb ihres Kreises liegend" erachten. Mehr aber noch galt ihm, dem bescheidenen Manne, die Verehrung, welche die Vertreter der

Digitized by Google

hochentwickelten Industrie seines engeren Vaterlandes einmütig ihm entgegenbrachten. Die Mülhausener industrielle Gesellschaft verlieh ihm den großen Dollfus-Preis, der alle 10 Jahre demjenigen zuerkannt werden soll, welcher sich um die Entwicklung der Industrie das höchste Verdienst erworben hat, und kurz vor seinem Tode wurde ihm zu Ehren eine Medaille mit seinem Bildnis geprägt. Mit besonderer Genugtuung konnte die elsässische Industrie das traurige und nur allzu oft wahre Wort Lügen strafen: der Prophet gilt nichts in seinem Vaterlande.

Lassen Sie mich zuerst reden von John Ericsson, der vor wenigen Monaten nach einem fast neunzigjährigen Leben voll beispielloser Tätigkeit in New-York die Augen schloß. Bereits im Jahre 1869 hatten die Zeitungen seinen Tod gemeldet, angeblich verursacht durch den Biß eines tollen Hundes. Der Nachricht wurde damals nicht widersprochen und viele, die seinen Nekrolog in den Zeitungen lasen, mögen ihn seitdem für tot gehalten haben. Nicht so diejenigen, welche die Errungenschaften der Technik in den Fachjournalen verfolgten, sie fanden noch oft seinen Namen verknüpft mit eigenartigen Erfindungen, als vollgültigen Beweis nicht nur für sein Leben, sondern auch für die ungebrochene Kraft und Frische seines Geistes. Heut ist an seinem Tode nicht mehr zu zweifeln, nachdem am 14. September die amerikanische Kriegsfregatte Baltimore seine sterbliche Hülle in den großen, schwarz dekorierten Pavillon am Schiffsholm der schwedischen Hauptstadt überführte, vor dem die Svea Garde als Ehrenwache paradierte. Ein ergreifender Kontrast diese Heimkehr zur Ausfahrt des jungen unbekannten Offiziers, der Heimat, Familie und Stellung verließ, um hinauszusteuern in den Nebel einer ungewissen Zukunft!

Am 31. Juli 1803 zu Philipstad in der Provinz Werme-

Digitized by Google

land in Schweden geboren, wo sein Vater als Bergwerksbesitzer ansässig war, verriet der geweckte Knabe schon früh eine besondere Begabung für die Mechanik. Die Aufmerksamkeit des Vizekönigs von Norwegen, des Grafen Platen, wurde sogar auf den jungen Mechaniker gelenkt und dessen Vermittlung verdankte er seine Aufnahme in das Ingenieurkorps. Als 13jähriger Kadett durfte er bei dem Nivellement des Goetha-Kanals bereits hilfreiche Dienste leisten. Die Gunst des Grafen Platen scheint er verscherzt zu haben infolge seines Eintritts in die schwedische Armee, in der er es bis zum Kapitän brachte. Längere Zeit leitete er Vermessungsarbeiten im nördlichen Schweden; in den Mußestunden, die ihm der Aufenthalt in jenen menschenarmen, von der Kultur entfernten Gegenden in Fülle brachte, regten sich die ersten Schwingen seines erfinderischen Genius.

Aus den Vorlesungen des Professors Harvestede über Physik, welche er in Stockholm gehört hatte, waren ihm die damaligen Ansichten über das Wesen der Wärme besonders lebhaft im Gedächtnis geblieben und es erschien ihm durchaus nicht unmöglich, die Ökonomie in der Ausnutzung der Wärme wesentlich vorteilhafter zu gestalten, als es bis dahin mit Hilfe des Dampfes gelungen war. Die Verwendung des Dampfes erschien ihm schon aus dem Grunde unökonomisch, weil beträchtliche Wärmemengen aufzuwenden waren, um denselben erst zu erzeugen, ehe er in dem Kreisprozeß des Motors als Träger der Wärme dienen konnte. Ein anderes gasförmiges Medium, die Luft, bot sich dagegen als ein kostenlos überall vorhandenes, vollkommen gleichwertiges Mittel dar.

Für die neue Luftmaschine, die er noch in Schweden konstruierte, suchte er vergeblich in seinem Heimatlande die erforderliche Unterstützung. In England dagegen, welches er

Digitized by Google

im Jahre 1826 zuerst mit Urlaub besuchte, glaubte er den Boden für seine kühnen Ideen zu finden. Er verließ den schwedischen Dienst und trat in engere Verbindung mit Braithewaite, dem Besitzer einer Maschinenfabrik in London.

Neue fesselnde Aufgaben traten ihm hier entgegen, die seinen Geist auf kurze Zeit von der Luftmaschine abzogen. Die englische Industrie rüstete sich zu dem großen Wettkampf von Rainhill. Die erste Eisenbahn zwischen Manchester und Liverpool harrte ihrer Eröffnung und ein hoher Preis war ausgeschrieben für die beste Lokomotive. Am 6. Oktober 1829, dem festgesetzten Tage des Wettstreites, erschien unter den 5 Preisbewerbern auch Ericsson mit seiner Novelty. Man kennt den Ausgang des Kampfes, Stephenson blieb Sieger mit seinem Rocket und gilt seitdem als der alleinige ruhmgekrönte Erfinder der Lokomotive.

Mit verdoppelter Kraft wandte sich Ericsson dem Bau seiner Luftmaschine wieder zu und im Jahre 1833 stellte er die erste 5pferdige Maschine in London auf. Das Aufsehen, welches seine Erfindung in der technischen Welt erregte, war ein außerordentliches. Nach seinen Angaben war ihm die Konstruktion des perpetuum mobile geglückt, wenn er selber auch gegen diese Bezeichnung seiner Erfindung lebhaften Einspruch erhob. Tatsächlich führte aber seine Gedankenfolge zu dieser Annahme. Zum Verständnis derselben müssen wir uns erinnern, daß die Wärme nach damaliger Auffassung als ein imponderabler Stoff galt und einem vermittelnden Körper, wie Dampf oder Luft, bei wechselnden Temperaturen zugeführt und entzogen werden konnte. Seine Maschine bestand im wesentlichen aus 4 Teilen. Eine Luftpumpe preßte aus der Atmosphäre gesogene Luft mit vermehrtem Druck in ein Reservoir. Von hier aus trat dieselbe durch ein eigen-

Digitized by Google

tümlich gestaltetes Zwischenglied, Regenerator genannt, in den mit Kolben versehenen Arbeitszylinder, dessen Wandungen durch Feuerung erhitzt wurden. Indem die erhitzte und gepreßte Luft hierin sich ausdehnte, konnte sie auf den Kolben und weiterhin auf die damit verbundene Kurbelwelle nutzbare Arbeit übertragen. Beim Rückgang des Kolbens entwich die ihrer Spannung beraubte, aber immer noch heiße Luft wieder durch den Regenerator hindurch in das Freie. Nach unserer heutigen geläuterten Kenntnis vom Wesen der Wärme ist es unzweifelhaft, daß auf diesem Wege nutzbare Arbeit erzeugt werden kann. Es nimmt uns deshalb auch nicht Wunder, daß seine Maschine tatsächlich ging. Der Irrtum Ericssons lag in einer falschen Beurteilung der Größe der aufzuwendenden Wärme. In seinem Regenerator, der im wesentlichen aus einem dichten Flechtwerk metallener Drähte von ungeheuerer Oberfläche bestand, glaubte er der verbrauchten entweichenden Luft den gesamten Wärmevorrat entziehen und aufspeichern zu können. Die frische, vom Reservoir hindurchgepreßte Luft sollte die erforderliche Wärme hieraus wiederum entnehmen. Die Feuerung hatte einzig und allein den Zweck, die durch Strahlung und unvollkommene Wirkung des Regenerators verursachten Wärmeverluste zu decken. Für jeden, der die Elemente der heutigen Wärmetheorie kennt, ist der Fehlschluß Ericssons offenbar. Wärme ist kein Stoff, sondern eine besondere Form von Energie, die sich verwandeln läßt in andere Formen, im vorliegenden Falle in die mechanische, die wir Arbeit nennen. Arbeit kann aber nur erzeugt werden, wenn ein äquivalenter Teil der aufgewendeten Wärme verschwindet. Die Feuerung der Ericssonschen Luftmaschine hat also nicht allein die unvermeidlichen Verluste, sondern auch den ganzen Betrag der erzeugten Arbeit zu decken. Daß das Regenerationsprinzip

Digitized by Google

im übrigen richtig und wertvoll ist, daß es den Wärmeaufwand tatsächlich zu einem gewissen Teil verringert, darüber ist heute gleichfalls kein Zweifel mehr.

Ericsson stand in der unrichtigen Auffassung seiner Maschine übrigens nicht allein, man kann sagen, die gesamte wissenschaftliche und industrielle Welt befand sich vor einem ungelösten Rätsel. Der berühmte Faraday war angegangen, seine Ansicht über die Maschine zu äußern und in einem öffentlichen Vortrage in der Royal Institution das Grundprinzip zu erläutern. Er sagte zu, da es ihm leicht erschien, die Unmöglichkeit eines perpetuum mobile zu erweisen. Nachdem er jedoch auf dringendes Ersuchen Ericssons noch in letzter Stunde vor Beginn seines Vortrages die Maschine besichtigt, konnte der berühmte Gelehrte dem versammelten großen Auditorium nur mitteilen, daß er sich in seiner Auffassung über das Prinzip der Maschine geirrt. Er könne nur bezeugen, daß sie tatsächlich Arbeit leiste, daß er jedoch selber nicht wisse, warum.

Die Behauptungen Ericssons über den minimalen Kohlenverbrauch konnten an der verhältnismäßig kleinen Versuchsmaschine allerdings nicht überzeugend erwiesen werden, doch schien es nicht ausgeschlossen, daß Maschinen von mehreren hundert Pferdestärken die in Aussicht gestellten Vorteile tatsächlich würden erreichen lassen.

Das Interesse der englischen Regierung wurde dadurch mit Rücksicht auf ihre Kriegsmarine geweckt, und eine Kommission, in der sich der berühmte Erbauer des Themsetunnels, Isambart Brunel, befand, mit der Begutachtung betraut. Bei der Besichtigung der Maschine kam es leider zu einem mehr als lebhaften Streit zwischen Brunel und Ericsson und der Bericht an die Regierung fiel ungünstig aus.

Digitized by Google

Ein anderer Gegenstand hatte inzwischen Ericsson's Aufmerksamkeit gefesselt — die Schiffschraube. Seine ersten gelungenen Modellversuche verschafften ihm die einflußreiche Unterstützung des amerikanischen Konsuls in Liverpool, Ogden. Mit amerikanischen Mitteln erbaute er 1836 den ersten größeren Schraubendampfer, mit dem er auf der Themse zahlreiche Probefahrten unternahm. Doch die Lords der Admiralität, denen er auch diese Erfindung vorführte, versagten ihre Unterstützung — aus theoretischen Gründen, da sie den Erfolg des praktischen Versuchs nicht leugnen konnten.

Enttäuscht kehrte Ericsson dem Lande, das ihm einen dreimaligen Mißerfolg bereitet hatte, den Rücken nnd wandte sich neuer Hoffnungen voll in das Land der Zukunft, nach Nord-Amerika, dessen mächtig emporstrebende Industrie seinen kühnen Ideen hülfsbereitere Mittel zuzuwenden versprach.

Mit offenen Armen wurde er empfangen; das Mechanics Institute in New-York verlieh ihm die goldene Medaille und durch die Vermittlung des Marinekapitäns Stockton erhielt er sofort den Auftrag, zwei Schraubendampfer für die amerikanische Regierung zu erbauen.

Die ersten Jahre seiner Tätigkeit in Amerika blieben dem Schiffbau und im Besonderen der Ausbildung des Schraubenpropellers gewidmet. Das erste große Kriegsschiff, das mit solchen ausgerüstet den Ozean durchfurchte, der Princeton, wurde nach den Plänen Ericsson's erbaut, und er hatte die Genugtuung, die edlen Lords der Admiralität in London vor dem Parlamente die Wichtigkeit einer Erfindung rühmen zu hören, deren Bedeutung sie wenige Jahre vorher so gründlich verkannt hatten.

Sein Schmerzenskind, die Luftmaschine, blieb jedoch unvergessen. Reichlich flossen ihm jetzt die Mittel, und nach-

Digitized by Google

dem er an immer größeren Maschinen die Durchführbarkeit seiner Ideen erprobt, wagte er die Konstruktion einer Riesenmaschine.

Im Jahre 1852 verließ ein großes Schiff, der „Ericsson", die Werft von New-York, um, mit angeblich 1000 pferdigen Luftmaschinen ausgerüstet, die Reise über den Ozean anzutreten. Zahllose Mengen waren Zeugen der Probefahrt im Hafen von Washington. Was nur Wenige erwartet hatten, geschah — das Schiff lief wirklich und zwar mit einem durch Schätzung bestimmten Kraftaufwand von etwa 300 Pferdestärken.

Doch während der Beifall Tausender ihn umbrauste, und während die Vertreter des Staates ihm beglückwünschten, durchlebte Ericsson selbst die bitterste Enttäuschung. Seine Maschinen liefen zwar, aber sie fraßen Kohlen, so gut wie die Dampfmaschine. Obgleich er in seinen Regeneratoren ein Gewebe aus feinem Draht in einer Gesamtlänge von 50 geographischen Meilen verwendet hatte, mußten die Zylinder fortdauernd in der stärksten Weise geheizt werden, um dem Schiffe die gewollte Geschwindigkeit annähernd zu erteilen. Das Gewebe seiner Rechnungen erwies sich als ein Spinnengewebe, das der Seewind rücksichtslos zerstörte. Wohl war um jene Zeit schon im fernen Lande der Dichter und Denker jenes Licht emporgestiegen, das den Schleier zerriß, der den wunderbaren Zusammenhang der Naturkräfte bis dahin verdeckt hatte, doch noch waren seine Strahlen nicht bis über den Ozean, noch nicht in die Werkstatt des Ingenieurs gedrungen. Hätte Ericsson nur ein Körnlein jener Erkenntnis besessen, welche der einsame Heilbronner Arzt schon 10 Jahre sein eigen nannte, unsägliche Mühe und Arbeit, ungezählte Tausende und bittere Enttäuschungen wären ihm erspart geblieben.

Digitized by Google

Nur noch wenige Worte über das Schicksal seines Schiffes. Bei einer weiteren Probefahrt brannten die Heizböden der Maschinen durch, und in aller Stille ersetzte man sie durch Dampfmaschinen. In dieser Gestalt kam es über den Ozean und lag einige Zeit im Hafen von Havre von zahllosen Neugierigen angestaunt als das neueste Wunder der Welt. Indessen der Unstern blieb über dem Schiff — es scheiterte auf der Rückfahrt an den Küsten Neu-Fundlands und versank mit Mann und Maus.

Doch der Mißerfolg, der den kleinen Geist entmutigt und lähmt, ist der Lehrmeister des Genies. Ericsson hatte aus seinem kostspieligen Versuch die Lehre gezogen, daß das Prinzip der Luftmaschine für Riesenleistungen, wie sie ein Ozeandampfer verlangt, nicht taugt. Er gab den Wettbewerb mit der Dampfmaschine auf. Doch die Kraft, welche sie wirklich gezeigt hatte, mußte sie unter allen Umständen befähigen, in kleineren Ausführungen Vorzügliches zu leisten. Ihre Gefahrlosigkeit ließ sie gegenüber der Dampfmaschine besonders geeignet erscheinen für den Betrieb in der Werkstatt, im Hause. So wurde Ericsson der Schöpfer des ersten Kleinmotors und seine neue Luftmaschine gelangte in Amerika bald zu ansehnlicher Verbreitung.

Jedoch nicht diese friedliche Arbeit sichert Ericsson seinen Weltruhm — die „Tod und Verderben speienden" Kriegsmittel der Neuzeit erfahren durch ihn jene unheimliche Vollendung, die seinen Namen auf aller Lippen bringt. Wer kennt ihn nicht, jenen grausigen Wettkampf zwischen den erzgepanzerten Feuerschlünden, dem Merrimack und dem Monitor?

Der Sezessionskrieg hatte in Amerika seine Furien entfesselt. Die Südstaaten waren vom Staatenbunde abgefallen und hatten den Bürgerkrieg begonnen. Da die Kriegsflotte

Digitized by Google

zum überwiegenden Teil in den Händen der Südstaaten geblieben war, galt es, für den Norden eine neue Marine zu schaffen. Unerhörtes leistete die Industrie. Über 500 Kriegsfahrzeuge mit mehr als 5000 Kanonen, darunter 180 große Seeschiffe und 40 eiserne Dampfer wurden in kurzer Zeit erbaut. Doch der Süden war gleichfalls nicht müßig. Er stellte zuerst jene schwimmenden Batterien und Widderschiffe in den Kampf, welche unter den hölzernen Kriegsschiffen der Union furchtbare Verheerungen anrichteten.

Da unterbreitete Ericsson der bedrängten Regierung des Nordens die Pläne seines Monitors, eines eigenartig konstruierten eisernen Schiffes, das nach seinen Behauptungen unbesiegbar und unzerstörbar sein sollte. Fast der ganze Schiffskörper ruhte unter Wasser, nur 18 Zoll ragte sein Bord über den Spiegel. Auf diesem Fundament erhob sich in der Mitte der dreifach gepanzerte Schießturm, um eine eiserne Mittelsäule durch Dampfkraft drehbar; Geschütze vom stärksten Kaliber waren darin untergebracht.

In 100 Tagen wollte Ericsson das Schiff erbauen — und er hielt Wort.

Auf der Reede von Hampton Roads bei Fort Monroe lag die Flotte der Nordstaaten, von den Rebellen umzingelt und hart bedrängt. Der Merrimack, jene eisengepanzerte schwimmende Batterie des Südens mit dem seltsamen schrägen Dach und dem langen stählernen Widder, waltete seines furchtbaren Amtes. Drei mächtige Fregatten, Cumberland, Congress, Minnesota erhielten an einem Tage von ihm den Todesstoß und sanken in den Grund. Da nahte als Rächer und Retter der Monitor, auf eiliger Fahrt von Norden. Sofort beginnt jener denkwürdige Zweikampf. Beide laufen gegeneinander an, doch sie scheinen unverwundbar, zentnerschwere Geschosse prallen von ihnen ab — endlich nach 5-

Digitized by Google

stündigem Kampf gelingt es dem Monitor, seinen Rivalen unter der Wasserlinie zum Tode zu verwunden, und der Sieg ist für die Nordstaaten entschieden, ihre Flotte gerettet.

Ich bin nicht Fachmann genug, um den Wert dieser Ericsson'schen Erfindung vom technischen Standpunkt aus würdigen zu können; ich weiß nur, daß es an gewichtigen Stimmen nicht gefehlt hat, welche das von Ericsson angewandte Prinzip als fehlerhaft bezeichnet haben und daß der Streit die Fachkreise längere Zeit in Bewegung erhalten hat. Die Bedeutung des Ericsson'schen Monitors und seines Sieges bei Hampton Roads für den Ausgang des amerikanischen Bürgerkrieges wird jedoch von keiner Seite bestritten. Wie hoch die Verdienste Ericsson's in Amerika geschätzt werden, davon legen die Worte des Professors Boynton von der amerikanischen Marineakademie in seinem bald nach Beendigung des Krieges veröffentlichten Werke: The history of the navy during the rebellion, Zeugnis ab:

„Die unparteiische Geschichte wird Ericsson als eine der größten Hülfskräfte des amerikanischen Krieges erkennen lassen. Als der Erfinder des Monitors zählt er zu denen, deren Genie die Anschauungen der Welt und ihr Können umgewälzt haben. Welch neue Form von Zerstörungsmaschinen der menschliche Geist noch ersinnen mag, kann Niemand sagen. Monitors werden überholt werden durch neue Waffen, welche den Todesstoß noch besser erteilen können, aber keine wird den Ruhm Ericsson's verkleinern. Zur Sicherung desselben genügt es, daß er das Bedürfnis seiner Zeit erkannte und dieser jungen Nation in der Stunde der Gefahr eine Waffe in die Hand gab, welche sie nicht nur schützte vor dem von Europa geplanten Vernichtungsschlage, sondern auch der gesamten Seekriegsmacht, mit

Digitized by Google

welcher England und Frankreich die Welt in Banden hielten, den Todesstoß versetzte. Der Monitor und seine ungeheueren Kanonen haben den Arm des Despotismus hier und in Europa zerbrochen; sie haben, wenigstens für einige Zeit, die schwächeren Nationen auf der See den stärksten ebenbürtig gestellt, und einmal befreit von dem Druck und der Furcht vor den großen Kriegsflotten, werden sie erstarken an Vertrauen und moralischer Kraft. Eine Nation, in deren Besitz nur ein einziger hervorragender Monitor, kann nicht mehr mißachtet werden, selbst nicht von England. Es ist zweifellos, daß in einiger Zeit diese mächtige und reiche Nation das frühere Übergewicht durch die Zahl ihrer neuen Schiffe, durch die Größe ihrer Kanonen wiedergewinnen wird, aber die Lektion des Monitors wird nicht vergessen sein, und vielleicht unterwerfen dereinst der Torpedo oder noch schrecklichere Hülfsmittel die Geschwader der Mächtigen der Gnade der Schwachen; es scheint von jetzt ab ausgeschlossen, daß irgend eine große Seemacht die Meere jemals wieder so beherrschen wird, wie England es bisher getan hat."

Um meine Mitteilungen nicht ungebührlich auszudehnen, will ich den Bericht über Ericsson's Erfindungen hiermit schließen. Sie bilden eine stattliche Zahl, und wenn auch nicht alle so phänomenale Bedeutung gewonnen haben, wie die geschilderten, so sind doch noch viele darunter, welche hinreichen würden, seinem Namen dauernden Ruhm zu verleihen. In der Muße des hohen Alters hat er seine sämtlichen Erfindungen in einem Werke vereinigt, dem er nach berühmtem Vorbild den Titel „A century of inventions" erteilen konnte. Eine einheitliche Darstellung seines Lebensganges und eine Würdigung aller seiner Erfindungen aus berufener Feder ist zur Zeit noch nicht vorhanden. Was ich mitteilen konnte, stammt aus hundert zerstreuten Notizen der

Digitized by Google

Fachliteratur. Am meisten bedauere ich, nicht in der Lage zu sein, meine Mitteilungen durch eine Charakterzeichnung des seltenen Mannes vervollständigen zu können. Sein Bildnis, welches Boynton mitteilt, zeigt ihn etwa in seinem 60. Lebensjahre. Das Gepräge einer festen, ja harten, selbstbewußten und in sich geschlossenen Persönlichkeit kommt darin zum Ausdruck. Der glattrasierte Mund mit den aufeinandergepreßten Lippen deutet auf unbezähmbare Energie. Die Augen unter buschigen Brauen zeigen den Adlerblick des Genies und die hohe Stirn das unverkennbare Gepräge großer und kühner Geistesarbeit. Vergeblich aber sucht man in diesen gleichsam aus Erz gegossenen Zügen die weicheren Linien gemütvoller Regungen.

Die Amerikaner zählen ihn stolz zu den Ihrigen, doch Gefühlsschwärmerei ist nicht ihre Sache. Sie hatten den Lebenden und seine geistige Riesenkraft — den Toten gaben sie gern, als die Heimat darnach verlangte.

Noch einmal trat er die weite Reise an über den Ozean, ein stiller Mann, um Einkehr zu halten in das Kämmerlein, das in der Heimat für ihn bereit stand:

Ihm zu Häupten ein Rasen grün.
Ihm zu Füßen ein Stein —

aber auf dem Stein steht ein Name, der einst die Welt in Staunen versetzt, und wenn die dankbare Nachwelt ihre großen Erfinder nennt, wird auch der Name John Ericsson nicht fehlen.

Wie anders das Bild, das sich entrollt, wenn wir das Wirken des elsässischen Philosophen an uns vorüberziehen lassen. Zwar fehlt ihm das dramatische Interesse, das

Digitized by Google

mit den kühnen Eroberungen des großen Schweden verbunden ist, aber zwischen den Zeilen tiefer Gelehrsamkeit bricht nicht selten die Regung eines warmen menschlichen Herzens hervor, das wir verehren und lieben lernen. Der Biograph der Zukunft, der ein Bild seines Lebens dereinst entwerfen wird, hat seine Verdienste nach drei verschiedenen Richtungen zu würdigen, als Physiker, als Maschinentheoretiker und als Philosoph. Als Physiker ist sein Name verknüpft mit der größten geistigen Errungenschaft des 19. Jahrhunderts, mit jener Erkenntnis des Zusammenhanges der Naturerscheinungen, die wir als das Prinzip der Erhaltung der Energie zu bezeichnen pflegen, als Maschinentheoretiker ist er der Bahnbrecher für eine neue Richtung der theoretischen Maschinenlehre, als Philosoph der begeisterte Vorkämpfer gegen die rein materialistische Weltanschauung, zu welcher die moderne kinetische Molekulartheorie in ihren letzten Konsequenzen führt.

Von den äußeren Lebensumständen Gustav Adolf Hirns ist nur wenig zu berichten. Als Sohn einer angesehenen Familie des Elsaß wurde er am 21. August 1815 geboren. Sein Vater war Teilhaber der großen textilindustriellen Firma Haußmann, Jordan, Hirn & Co. zu Logelbach bei Colmar. Er scheint der kunstverständige Berater der Fabrik gewesen zu sein, denn es wird berichtet, daß er als ausübender Künstler Werke bleibender Bedeutung geschaffen habe.

Künstlerische Neigungen gingen auch auf den Sohn über; seiner leidenschaftlichen Liebe zur Musik verdanken wir wertvolle Arbeiten aus der Akustik und die mathematische Theorie des Metronoms, und als er seinem jugendlichen Freunde und von ihm ruhmvoll gefeierten Mitarbeiter, Hallauer, bei seinem frühen Tode ergreifende Worte des Nachrufs widmet, kann er in wehmütiger Betrachtung der

Digitized by Google

kunstvollen Blätter auf seinem Schreibtisch, Liebeszeichen von jener Freundeshand, sein Bedauern nicht unterdrücken, daß der Freund sich nicht völlig der Kunst zu eigen gegeben.

Adolf Hirn besaß von Jugend auf eine zarte Gesundheit. Die leise Klage über schwere körperliche Leiden kehrt in seinen Schriften wieder. „Seit lange bin ich gewöhnt," so klagt er beim Tode des Freundes, „in dem Nebel des Horizontes die ungewissen Konturen des verheißenen Landes zu suchen." Er hat infolge dieses Umstandes niemals den Unterricht einer Schule genossen, auch Universitätsstudien zu machen, blieb ihm versagt.

Und doch regte sich früh in diesem gebrechlichen Körper ein starker Geist, der zu schaffen verlangte. Die Naturwissenschaften nahmen ihn unwiderstehlich gefangen, und er sammelte unermüdlich Kenntnisse, um sie im Dienste der väterlichen Fabrik dereinst zu verwerten.

Als er herangewachsen war, wurde ihm die Aufsicht über die Maschinen der ausgedehnten Anlagen übertragen. Bestimmte Aufgaben traten damit an ihn heran, bei deren eigenartiger Auffassung sich sofort sein ungewöhnlicher Geist verriet.

Im Jahre 1845 legte er der industriellen Gesellschaft zu Mülhausen seine erste wissenschaftliche Arbeit vor, eine ausführliche mathematische Theorie der Ventilatoren. Dieselbe fand den ungeteilten Beifall der zu ihrer Prüfung berufenen Fachmänner, welche in einer Vereinssitzung darüber berichteten.

Zeigte er sich in dieser Abhandlung bereits als tüchtiger, die Hilfsmittel der Wissenschaft im vollen Umfange beherrschender Ingenieur, so erscheint seine nächste Arbeit, die er 1847 vollendete, aber erst 1854 der Gesellschaft vorlegte,

Digitized by Google

als diejenige eines bahnbrechenden Forschers, dessen Gedankenflug ihn über das unmittelbare Ziel weit hinausträgt.

Der Inhalt dieser Abhandlung ist bezeichnend für den eigentümlichen Charakter vieler seiner Arbeiten. Eine rein ökonomische, fast triviale Frage, diejenige des Schmierölverbrauchs in den ausgedehnten Werkstätten seiner Fabrik führt ihn auf das Studium der bei der Zapfenreibung auftretenden Erscheinungen. Die Resultate seiner Untersuchung drängen ihn zu einem vollständigen Bruch mit den alten Überlieferungen, er erkennt neue und wichtige Gesetze, welche die Reibung beherrschen. Doch mehr noch: seine Beobachtungen über die bei verschiedenen Reibungen auftretenden Temperaturen entschleiern ihm ein großes Naturgesetz, und seine Arbeit gipfelt in der Erkenntnis, daß die bei der Reibung erzeugte Wärme sich messen läßt durch einen bestimmten Arbeitsbetrag, der unabhängig ist von der Dauer der Reibung, unabhängig von der Natur der reibenden Körper und der erzeugten Temperatur. 370 Meterkilogramm aufgewendeter Arbeit entsprechen nach seinen Untersuchungen einer Kalorie erzeugter Wärme. Es ist das Gesetz der Äquivalenz von Wärme und Arbeit, das in diesen Sätzen zum klaren Ausdruck kommt.

Zwar war er nicht der erste, der diesen Zusammenhang erkannt und ziffernmäßig festgestellt hat. Die oft gescheiterten Bemühungen Robert Mayers, diese Erkenntnis der wissenschaftlichen Welt zu unterbreiten, waren kurze Zeit vorher endlich von Erfolg gekrönt gewesen, aber die Nachricht davon erreichte Hirn erst nach völligem Abschluß seiner Untersuchungen. In einer Nachschrift seiner Arbeit entkleidet er sich selbst des erträumten Forscherruhmes und tritt bescheiden in den Schatten. Aber sein Verdienst wird dadurch nur wenig geschmälert, die von ihm gefundene Zahl 370 kam

Digitized by Google

der von Mayer angegebenen 365 so nahe, daß seine Arbeit als eine der wichtigsten Stützen des neuen Naturgesetzes angesehen werden konnte.

Da er der Vater der neuen Idee nicht bleiben konnte, wurde er ihr eifrigster Apostel. Doch nicht in der Stille des Laboratoriums, nicht mit den subtilen Instrumenten der physikalischen Forschung trug er bei zur Klärung der wichtigen Fragen — die großen 100pferdigen Maschinen seiner Fabrik stellte er in den Dienst der Wissenschaft! Durch fortgesetzte Wärme- und Arbeitsmessungen, zu deren Ausführung er neue und sinnreiche Instrumente erdachte, zeigte er die Hinfälligkeit der Annahmen Carnots und Clapeyrons bezüglich der Stofflichkeit der Wärme. Er wies unwiderleglich nach, daß in dem Prozeß der Dampfmaschine mit dem Temperaturgefälle des Dampfes ein Verlust an Wärme verbunden ist, der in numerisch bestimmtem Verhältnis zur gewonnenen Arbeit steht. Die Zahlen, die er auf diesem Wege gewann, kamen dem wahren Wert des Wärmeäquivalents mindestens ebenso nahe wie die Forschungsergebnisse der Physiker. Es war eine Dankesschuld, welche die Technik abtragen konnte für manche wertvolle Errungenschaft der Physik, die sie sich zu Nutzen gemacht.

Doch die Bedeutung Hirns für die Maschinentheorie liegt nicht allein in dieser Tatsache, die Methoden seiner Untersuchung sind fast noch wichtiger — er erteilte der theoretischen Maschinenlehre damit einen neuen Impuls. Um diese Seite seines Wirkens, für uns die wesentlichste, in vollem Umfange zu würdigen, ist es erforderlich, sich die bisherige Entwicklung der Maschinentheorie zu vergegenwärtigen.

Die theoretische Behandlung der Aufgaben des Maschinenbaues ist eine Errungenschaft des jetzigen Jahrhunderts. Die

Digitized by Google

rechnerische Lösung der Probleme konnte erst in Angriff genommen werden, nachdem die Fundamente der Mechanik festgelegt waren. Diese Bestrebungen bilden zum überwiegenden Teil die Arbeit der Mathematiker des vorigen Jahrhunderts. Erst mit der Begründung der polytechnischen Schule zu Paris beginnt eine methodische Behandlung der Aufgaben des Maschinenbaues, an der Scheidegrenze der Jahrhunderte steht die Wiege dieser jungen Wissenschaft.

Poncelet und Morin sind die ersten, welche die Mechanik der hydraulischen und kalorischen Maschinen in zum Teil heute noch gültiger Form festlegen, und die bis dahin scheinbar regellose Fülle der Mechanismen nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten ordnen. Die Vertiefung der von diesen Forschern geschaffenen Methoden verdanken wir zumeist deutschen und englischen Gelehrten. Rankine in England, Redtenbacher, Weisbach und Grashof in Deutschland dehnen den Kreis der durch Rechnung zu lösenden Probleme auf immer weitere Gebiete des Maschinenbaues aus.

Allen gemeinsam ist die meisterhafte Handhabung des Werkzeugs der Analysis. Ihren Höhepunkt erreicht diese Schule in Grashof, der die Summe seiner Lebensarbeit soeben in einem umfangreichen Werke über die theoretische Maschinenlehre zusammenfassend und abschließend niedergelegt hat. Das Grashof'sche Werk erhält durch die fast ausschließliche Verwendung der Analysis seinen kennzeichnenden Charakter. Ausgehend von den feststehenden Tatsachen der Physik behandelt Grashof in der denkbar knappsten Form klassischer Wort- und Formelsprache fast die Gesamtheit der Probleme des Maschinenbaues unter Berücksichtigung der geringsten Nebeneinflüsse und gelangt zu Schlußformeln, deren Diskussion zur Aufstellung allgemeiner Gesichtspunkte benutzt wird. Dieses Werk sichert unserem

Digitized by Google

Vaterlande zur Zeit den ersten Rang in der rechnenden Maschinenwissenschaft.

In durchaus neue Bahnen wird die Forschung dagegen gelenkt durch Zeuner und Reuleaux, welche neue Hilfsmittel der Maschinentheorie erschließen. Zeuner ist in erster Linie der glückliche Vermittler zwischen der modernen Naturanschauung und der theoretischen Maschinenlehre. Ihm verdanken wir den Aufbau der Theorie der Wärmekraftmaschinen auf dem Prinzip von der Erhaltung der Energie. Zwar haben auch andere Gelehrte, wie Rankine und der Physiker Clausius die Sätze der mechanischen Wärmetheorie auf technische Probleme, besonders auf die Theorie der Dampfmaschinen, anzuwenden gelehrt, keiner aber mit dem umfassenden Verständnis für die Bedürfnisse des Maschinenbaues, keiner mit so durchaus eigenartigen Methoden wie Zeuner. Er erweitert den Gesichtskreis, indem er für die Probleme des Maschinenbaues die äußersten Grenzen aufsucht. Durch die Einführung des Begriffs der idealen Maschine schafft er einen Vergleichsmaßstab, der den wahren Wert des wirklichen Prozesses sowie die Richtung des Fortschrittes mit Sicherheit erkennen lehrt. Seine Methode führt darum jederzeit von den allgemeinsten Gesichtspunkten zu den Besonderheiten des einzelnen Falles. Von dem Hilfsmittel der Rechnung macht Zeuner nur in beschränkter Weise Gebrauch, er erleichtert das Verständnis durch Heranziehung allgemeiner Naturgesetze.

Von nicht minderer Bedeutung ist das Wirken Reuleaux's. Seine Gesichtspunkte sind denen Zeuner's verwandt, auch er lehrt die Erforschung der Gesetze des allgemeinsten Falles, führt sie aber durch Zergliederung auf wenige Elementarzustände zurück. Während die Tätigkeit Zeuner's hauptsächlich den Kraftmaschinen zugewandt ist, belebt Reu-

Digitized by Google

leaux mit schöpferischem Genius das nicht minder wichtige Gebiet der Mechanismen, auf welchem er eine vollkommene Revolution der Anschauungen hervorgerufen hat. Von dem Hilfsmittel der Rechnung macht Reuleaux noch weniger Gebrauch als Zeuner, seine epochemachendsten Arbeiten erhalten ihr eigenartiges Gepräge durch das vollständige Fehlen des rechnerischen Apparates. Er führt zunächst jene großartige, von französischen Mathematikern begründete Auffassung der Bewegungsgesetze in die Maschinenlehre ein und lehrt ihre Anwendung auf die verwickelten Mechanismen der Technik. Er kombiniert sie mit anderen fruchtbaren Gesetzen, welche seinem eigenen Geiste entspringen, wie demjenigen von der Paarung der Elemente, der Umkehrung der Mechanismen, und schreckt sogar vor der kühnen Aufgabe, Mechanismen durch wissenschaftliche Synthese zu finden, nicht zurück.

Beider Methoden sind längst zum Gemeingut geworden, sie haben aus dem stillen Hörsaal einen wirklichen Weltgang angetreten und durchtränken heute zahlreiche Anschauungen der Maschinentheorie ohne daß man sich dessen überall und immer bewußt wird. Sie haben befreiend gewirkt von dem Ballast endloser Formelreihen, und so mancher mag ihnen heute dankbaren Herzens bekennen:

Weg die Fesseln! Deines Geistes
Hab' ich einen Hauch verspürt!

An bahnbrechenden Geistern, an kühnen Forschern hat es der Maschinentheorie also nicht gefehlt. Blicken wir aber zurück auf die Arbeit eines vollen Jahrhunderts, und fragen wir, wie weit es gelungen ist, die Probleme des praktischen Maschinenbaues der Vorausberechnung zu unterwerfen. Auf einzelnen Gebieten hat die Wissenschaft zweifellos die Forde-

Digitized by Google

rungen erfüllt, bei zahlreichen Aufgaben weist sie allein dem Ingenieur den richtigen Weg. Doch nicht in allen Fällen ist sie die nimmer irrende Führerin, noch oft genug muß sie bescheiden zurücktreten hinter der siegreichen Schwester Erfahrung. Leider ist dies der Fall gerade bei den wichtigsten Schöpfungen der Technik, bei den Wärmekraftmaschinen.

Morin war der erste, welcher eine Theorie der Dampfmaschine aufstellte und ihre Berechnung lehrte. Es war ein erster und naturgemäß unvollkommener Versuch; er ging von Annahmen aus, deren Unhaltbarkeit von vornherein auf der Hand lag. Der Dampf wurde als ein permanentes Gas aufgefaßt und seine Expansion aus dem Mariotte'schen Gesetz abgeleitet. Die Theorie gab ein Resultat, welches weit abwich von der Erfahrung. Dann kam die feinere Theorie de Pambour's, gleichfalls unzulänglich, weil auch sie für den Zustand des Dampfes in der Maschine eine unmögliche Voraussetzung machte. Neue Hoffnungen erwachten, als die Gesetze der mechanischen Wärmetheorie dem Maschinenbau sich erschlossen. In unübertroffener Klarheit entwarf Zeuner die Umrisse einer neuen Theorie, zeigte die Mängel der bisherigen Annahmen und stellte die Dampfmaschine auf neue, felsenfeste Fundamente. Aber die wichtige Frage der Berechnung des Dampfverbrauchs blieb auch jetzt noch offen. Der praktische Dampfmaschinenbauer stützt sich nach wie vor auf die alte Morin'sche Formel und korrigiert das Rechnungsresultat durch einen Erfahrungskoeffizienten von trauriger Größe. Man kann allerdings nicht behaupten, daß die Vervollkommnung der Dampfmaschine darunter zu leiden hatte — ihren Entwickelungsgang hat sie unbeirrt fortgesetzt an der Hand der Erfahrung.

Nicht minder hülflos blieb die Maschinentheorie gegenüber der Zwillingschwester der Dampfmaschine — der Gas-

Digitized by Google

maschine. Jahrzehnte lang fristete diese ihr kümmerliches, aber zähes Dasein in den Probierwerkstätten der Fabriken. Das kurze Aufflattern zum Beginn der 60er Jahre war nicht von Dauer, flügellahm, weil unfertig in ihren innersten Organen, sank sie zurück in den unterbrochenen Werdeprozeß. Da schwang sie sich empor in der Mitte der 70er Jahre aus jener Werkstatt am Rhein, wie ein Phönix aus der Asche, fertig und vollendet wie eine Minerva, um einen Siegeslauf ohne Gleichen anzutreten. Ebenbürtig steht sie heut neben der Dampfmaschine, und die Hoffnungen sind nicht übertrieben, die in ihr die Alleinherrscherin der Zukunft erblicken.

Welches ist nun der belebende Gedanke, der zündende Funke, der diese schlummernde Kraft erweckt, oder prosaisch gesprochen, durch welche offenbar rein mechanischen Mittel ist es gelungen, den Gasverbrauch so tief herabzusetzen? Die Maschinentheorie ist bis jetzt die Antwort darauf schuldig geblieben. So viel Schriftsteller darüber geschrieben haben, so viel Ansichten sind vertreten. Die einen messen den Erfolg lediglich der Kompression vor der Zündung bei, andere der vermehrten Geschwindigkeit, noch andere dem eigentümlichen Verbrennungsprozeß im Innern der Maschine. Noch fehlt uns die Formel, welche den Weg der Flamme in dem Feuermeer der Explosion sicher verfolgen läßt, noch fehlt dem blöden Auge die scharfe Brille, um die eiserne Wandung zu durchdringen. Nur Vermutungen sind die schwankenden Fundamente, auf denen die Rechnung sich aufbaut, und enttäuscht legt der Theoretiker die Feder nieder, wenn das Facit seiner Formeln der einfachsten Erfahrung Hohn spricht.

Hirn müssen wir nun als denjenigen feiern, der mit weitschauendem Blick der Maschinentheorie einen neuen erfolg-

Digitized by Google

verheißenden Weg gewiesen, oder richtiger gesagt, der uns zurückgeführt hat auf jenen alten sicheren Weg, den Baco von Verulam schon beschritten — den Königsweg des Experiments.

Ich meine nicht jene Messungen des Verbrauchs und der Leistung ausgeführter Maschinen, durch welche der Ingenieur von jeher das Resultat seiner konstruktiven Tätigkeit zu kontrollieren gewohnt ist, ich meine nicht jene vergleichenden Versuche, durch welche das Übergewicht einer neuen Maschine oder einer sinnreichen Abänderung derselben dem Abnehmer klargelegt wird. Diese Ermittelungen verfolgen lediglich den Zweck der Feststellung eines Tatbestandes und können nur mittelbar dem Fortschritt dienen. Die Versuche, welche Hirn uns gelehrt, beziehen sich auf das innere Lebensprinzip der Maschine, auf das Studium des Werdeprozesses der Arbeit und der Wandlungen der Wärme. Er selbst bezeichnet sie als „praktische Theorie", in Deutschland nennt man sie seit Gustav Schmidt „Calorimetrische Untersuchung."

Die Methoden, welche Hirn hierbei in Anwendung brachte, sind verschieden von denen der Physiker. Während diese darauf ausgehen, die Naturgesetze an sich zu erforschen, und bestrebt sind, jede zu studierende Erscheinung möglichst rein und ungetrübt durch Nebeneinflüsse zur Darstellung zu bringen, handelt es sich bei dem Arbeitsgang einer Maschine um eine Fülle von Einflüssen, deren Gesamtwirkung erst ein Bild des Prozesses gibt. Den Maschinentheoretiker interessiert weniger der Verlauf einer isolierten Erscheinung als vielmehr die gegenseitige Wechselwirkung und ihr Einfluß auf die Gesamtarbeit. Die genauen Methoden, nach denen der Physiker zu arbeiten gewohnt ist, verbieten sich hierbei von selbst. Haupterfordernis ist die Einfachheit der Methoden und Meß-

Digitized by Google

instrumente und die Vielheit und Schnelligkeit der Messungen selbst. Es wäre unangebracht, die Genauigkeit weiter treiben zu wollen als die Grenze der vorgelegten Frage dies verlangt. Die Einfachheit der Instrumente und Methoden wird noch aus einem anderen Grunde zur Notwendigkeit. Der Maschinentheoretiker kann seine Messungen für gewöhnlich nicht in der Stille des Laboratoriums mit der Muße des Physikers ausführen. Inmitten der Werkstatt, zwischen bewegten Maschinen, nicht selten an gefahrbringenden Orten, gestört durch verwirrende Geräusche, durch tausenderlei Nebeneinflüsse und Zufälligkeiten, ist sein Platz.

Bereits in seiner ersten großen Arbeit über die Dampfmaschine, welche er im Jahre 1855 der Mülhausener Gesellschaft vorlegte, beschritt Hirn diesen Weg. Im Jahre 1856 folgte eine zweite epochemachende Schrift. In einem mehrfach aufgelegten zweibändigen Werke über die mechanische Wärmetheorie hat er den größten Teil seiner Forschungsergebnisse methodisch zusammengefaßt. Eine Fülle von großen Gedanken, vorgetragen in fesselnder Form, durchglüht von edler Begeisterung, entrollt dieses bedeutsame Werk, dessen ungenauen und zum Teil nicht widerspruchsfreien Zahlenangaben nur unsere Ehrfurcht erwecken, wenn wir erfahren, daß halberblindete Augen die Hand des Verfassers lenkten. Doch die tatkräftige blühende Industrie der Reichslande eilte mit dienstbereiten Augen und Händen herbei, dem Forscher ihre Dienste zu leihen. Eine Schule sammelt sich um den Meister, welche die calorimetrische Untersuchung der Dampfmaschine auf ihre Fahne schreibt und über das Verhalten des Dampfes im Zylinder der Maschine bald ein überraschendes Licht verbreitet. Leloutre, Hallauer, Grosseteste, Walther Meunier und Keller im Elsaß, Dwelshauvers-Dery in Belgien, Donkin und

Digitized by Google

English in England, Schröter in Deutschland tragen wertvolles Versuchsmaterial zusammen. Dwelshauvers-Dery und Gustav Schmidt wirken als begeisterte Dolmetscher für die Verbreitung und das Verständnis der neuen Ideen, während Zeuner's Meisterhand sie in die klare durchsichtige Form ausprägt.

Das Hauptergebnis dieser Forschungen gipfelt in folgender Erkenntnis: Zum vollen Verständnis der Wirkung des Dampfes genügt nicht die bisher geübte Betrachtung des Dampfes allein, von wesentlich mitbestimmendem Einfluß ist sein Partner, die Wandung, das Metall des Zylinders — eine glänzende Bestätigung der großen fruchtbringenden Gedanken Reuleaux's von der Paarung der Elemente und ihrer Gleichwertigkeit. So schließt sich der Kreis, von weitschauenden Forschern an verschiedenen Punkten und zu verschiedenen Zeiten begonnen, zu harmonischer Vollendung!

Durch die Wechselwirkung des Dampfes und der metallischen Wandung wird nicht nur die viel umstrittene Frage des Dampfverbrauchs vollkommen erklärt, auch auf andere wichtige Erscheinungen wirft sie ein helles Licht. Ich kann den Zusammenhang hier nur kurz andeutend berühren. Die Wandung des Zylinders nimmt im Verlauf des periodischen Spieles eine mittlere Temperatur an. Dieselbe ist kleiner als die Temperatur des Kesseldampfes, der unter Volldruck eintritt, größer dagegen als die Temperatur des expandierten Dampfes, der in den Kondensator strömt. Ein Teil des eintretenden Dampfes wird in Folge dessen an den kühleren Wandungen kondensiert und schlägt sich in Wasserform auf denselben nieder, im Verlaufe der Kondensation, zum Teil sogar schon während der Expansion, wird von den nun heißeren Wandungen dieses Wasser von neuem ver-

Digitized by Google

dampft. Gewinn und Verlust gleichen sich jedoch nicht aus, denn während des Auspuffes geht die frei werdende Wärme nutzlos zum Kondensator.

Ähnlich, wenn auch geringer, ist die Wirkung der Wandung in der Gasmaschine, wo sie besonders den wichtigen Vorgang der Zündung beeinflußt. Ein unaufhörlicher Austausch von Wärme zwischen den Wandungen und dem wärmetragenden Mittel begleitet somit den Kreisprozeß der kalorischen Maschinen und die Theorie, wenn sie ein zutreffendes Bild der Vorgänge entwerfen will, muß auf beide gleichwertig Rücksicht nehmen.

Noch ist es nicht gelungen, diese verwickelten und zum Teil noch verschleierten Wechselbeziehungen der Rechnung zu unterwerfen, aber der Weg, den die Maschinentheorie zu verfolgen hat, ist ihr auf das Klarste bezeichnet — in mühsamer Kärrnerarbeit gilt es, die Bausteine zusammenzutragen, aus denen dereinst der Meister der Zukunft das festgefügte Gebäude errichten kann.

Wie bei allen großen und wichtigen Fortschritten hat auch diese Erkenntnis allmählich Platz gegriffen, zahlreiche und mühevolle Versuche waren erforderlich, ehe sie in klaren Sätzen formuliert werden konnte. Man hat nicht mit Unrecht darauf hingewiesen, daß einzelne der in Rede stehenden Erscheinungen schon früher von erleuchteten Geistern mit Eifer studiert und teilweis auch richtig gedeutet worden sind. Doch kann dies das Verdienst des großen Elsässers nicht verkleinern. Nicht die Tatsachen an sich, sondern die Methoden der Forschung, die er uns gelehrt, das neue Ideenreich, welches der siegreiche Flug seines Geistes damit erschlossen, bilden das Reformatorische seines Wirkens und verleihen ihm unvergänglichen Ruhm.

Digitized by Google

Nur hierdurch ist der große Erfolg seiner Tätigkeit zu erklären, welche einen Kreis begeisterter Schüler zu seinen Füßen sammelte, die voll Verehrung zu ihm aufsahen, zu ihm, der nie ein Lehramt bekleidet und doch das Haupt einer neuen, zukunftsreichen Schule geworden ist.

Sein Bildnis, das ich der Güte seines Freundes und eifrigsten Mitarbeiters, Dwelshauvers-Dery verdanke, zeigt uns die freundlichen Züge des mit seinen Gedanken nach innen gekehrten Gelehrten, dessen liebenswürdiges Wesen der Freund in folgenden Worten schildert: „Hirn's Charakter war ebenso edel und erhaben, wie seine Kenntnisse tief und ausgebreitet. Seine Aufrichtigkeit, sein unbeirrtes Urteil waren im Elsaß allbekannt und hochgeschätzt, er wurde oft als alleiniger Schiedsrichter in verwickelten Streitfragen angerufen. Seine Geduld war unerschöpflich und seine Herzensgüte besonders für die Schwachen und Unwissenden so groß, daß der berühmte Gelehrte es nicht verschmähte, Kindern die Wunder der Welt zu erklären."

Von den ferneren Lebensschicksalen Hirn's habe ich nur noch zu berichten, daß er sich im Jahre 1881 von den Geschäften zurückzog und in Kolmar ganz seiner wissenschaftlich-literarischen Tätigkeit lebte. Diese war eine so ausgebreitete, daß ich Seiten füllen müßte, wollte ich nur die Titel seiner sämtlichen Arbeiten anführen. Die letzten Jahre seines Lebens waren astronomisch-philosophischen Forschungen gewidmet, die er kurz vor seinem im Januar dieses Jahres erfolgten Tode in den großen Werken Analyse élementaire de l'univers und Constitution de l'espace céleste zum Abschluß brachte. Mit Bezug auf das erstere sagte der Berichterstatter der französischen Akademie, daß es die Zeiten von Descartes und Leibniz wachriefe. Es ist hier nicht der Ort und auch keine Aufgabe, der ich gewachsen wäre, die tiefen philoso-

Digitized by Google

phischen Gedanken darzulegen, die der greise Gelehrte in diesen Werken offenbart.

Aber ein gewaltiger, wundersam ergreifender Abschluß eines Forscherlebens ist es, das mit Schmieröluntersuchungen beginnt und mit kühnen Gedanken über den Bau des Weltalls endet!

Hirn's Name ist deutsch, seine engere Heimat ein Teil unseres Vaterlandes, und doch dürfen wir ihn kaum den Unserigen nennen; sein Denken und Fühlen gravitierte nach Frankreich, auch seine Werke sind französisch geschrieben. Und dennoch will mir scheinen, war sein Geist von einem Hauch deutschen Wesens durchdrungen: zitiert er doch in seinen Werken mit Vorliebe Schiller, den deutschesten unserer Dichter. Mit todesmüder Hand schrieb er noch auf sein letztes Werk als Glaubensbekenntnis die Worte:

Hoch über der Zeit und dem Raume webt
Lebendig der höchste Gedanke.
Und ob Alles in ewigem Wechsel kreist,
Es beharret im Wechsel ein ruhiger Geist.

Digitized by Google

5.

Nicolaus August Otto

der Erfinder der Gasmaschine.

Am 26. Januar 1891 verschied zu Köln noch in rüstigem Mannesalter Dr. Nicolaus August Otto. Nicht nur ein hervorragender Vertreter der deutschen Industrie ist damit seinem Wirken an der Spitze einer geachteten Fabrik entrissen worden — ein Erfinder von weltbekannter Bedeutung ist auch mit ihm zu Grabe getragen, dessen Name in allen Teilen der Erde, wo immer nur industrielle Tätigkeit sich entfaltet, mit Anerkennung genannt wird.

Wenn James Watt als der Erfinder der Dampfmaschine schlechthin bezeichnet wird, darf man für Otto den Titel des „Erfinders der Gasmaschine“ in Anspruch nehmen. Denn wie jener durch richtige Leitung der Kondensation der Dampfmaschine erst dauernde Lebenskraft verlieh, hat Otto durch eine richtig geordnete Zündung und Verbrennung die Gasmaschine zum Wettbewerb erst befähigt.

Die Schwierigkeiten, welche sich einer wissenschaftlichen Erkenntnis der Explosions- und Verbrennungserscheinungen entgegenstellen, sind fast unüberwindlich wegen der Höhe der auftretenden Temperaturen und der Kürze der Zeit, in

Digitized by Google

Nicolaus August Otto.

Digitized by Google

der die Vorgänge sich abspielen. Um so staunenswerter ist es, daß der grundlegendste Erfolg einem Manne gelang, der weder eine schulgemäße wissenschaftliche Ausbildung genossen hatte, noch durch die Wahl seines Berufes zur praktischen Beschäftigung mit ähnlichen Dingen veranlaßt wurde.

Nicolaus August Otto, 1832 in Holzhausen in Nassau geboren, widmete sich bis zu seinem 29. Jahre einer rein kaufmännischen Tätigkeit. Von Jugend auf indes nach Bereicherung seiner naturwissenschaftlichen Kenntnisse strebend, gewann er ein umfassendes Verständnis für alle physikalischen Fragen, besonders für solche, die mit den Fortschritten der Technik in Zusammenhang standen.

Als im Jahre 1861 die Nachricht durch die Zeitungen lief, daß es dem Pariser Mechaniker Lenoir gelungen sei, durch die Explosion von Leuchtgas motorische Kraft zu erzeugen, richteten sich seine Gedanken auf dasselbe Ziel. Ein neuer Ideenkreis eröffnete sich seinem geistigen Auge, und mit der ihm eigenen Ausdauer und Zähigkeit blieb sein Geist von nun an darin gebannt. Nicht beirrte es ihn, als die Frage vor das wissenschaftliche Forum gezogen und es klar wurde, daß die kleine öltriefende, puffende Maschine, welche in der Posamentierwerkstatt der Rue de l'Évêque unregelmäßig und eigensinnig die Haspeln trieb, noch weit entfernt war, den Wettkampf mit der Dampfmaschine aufzunehmen. Mit Bedauern beobachteten seine Freunde, wie er den sicheren Boden seiner bisherigen aussichtsvollen Tätigkeit mehr und mehr verließ, um einem Irrlicht nachzujagen. Bekümmerten Herzens sah eine geliebte Braut den Aufbau des eigenen Herdes in immer weitere Ferne gerückt. Unerschütterlich aber blieb sein Glaube an die Zukunft der Gasmaschine — und an seinen eigenen Stern.

Digitized by Google

Im Jahre 1863 gelang es ihm endlich, seine ersten Ideen in der Werkstatt eines Kölner Mechanikers verwirklicht zu sehen. Das Ergebnis war wenig befriedigend, aber erklärlich bei den damals noch mangelhaften Kenntnissen des Erfinders im Maschinenbau.

Schwere Zeiten brachen für ihn herein, bange Sorge breitete dunkle Schwingen um ihn, und der Zusammensturz all seiner Hoffnungen schien fast unabwendbar.

Da in der Stunde der Not fügte sein guter Stern die Wendung seines Schicksals. Er führte ihn zusammen mit einem Manne, der nicht nur die technische Wissenschaft zu den Füßen eines Redtenbacher studiert hatte, sondern der auch dasjenige in sich trug, was in keiner Schule erlernt werden kann, das Genie des Konstrukteurs. Eine sieghafte Überzeugungskraft muß den Ideen des sonst so verschlossenen, grübelnden Erfinders inne gewohnt haben, daß es ihm gelang, das Mitglied einer hochgeachteten industriellen Familie des Rheinlandes, das vollgültige Proben einer hervorragenden Begabung bereits abgelegt hatte, für seine fast verlorene Sache zu begeistern.

Nicolaus Otto und Eugen Langen bildeten von nun an in seltener Vereinigung sich ergänzender Kräfte jenes Dioskurenpaar der Neuzeit, dem es gelang, eine neue Kraftquelle der Industrie zu erschließen. Seit dem 30. September 1864 datiert die gemeinsame Arbeit der beiden Männer, denen es noch vergönnt war, auf die großartigen Erfolge ihrer 25jährigen Vereinigung zurückblicken zu können. Der Idee Otto's gab Langen die mustergültige konstruktive Form, und es dürfte schwer sein, heute noch zu entscheiden, wem von beiden bei ihren ersten Erfolgen die Palme gebührte.

Die erste Frucht ihrer gemeinsamen Tätigkeit war die wohlbekannte atmosphärische Gaskraftmaschine, mit welcher

Digitized by Google

sie auf der Pariser Weltausstellung 1867 vor die technische Welt traten. Fast unbeachtet stand sie abseits von der glänzenden Stätte, wo die zahlreichen Ausführungen der Lenoir'schen und Hugon'schen Gasmaschinen paradierten. Denn nicht müßig war inzwischen die französische Gasmotorenindustrie gewesen. Die Compagnie Lenoir hatte den Bau der Motoren mit hervorragenden technischen und finanziellen Mitteln in die Hand genommen, und ihre sorgfältigen Konstruktionen mit fast geräuschlosem Gang ließen das Urbild der Rue de l'Évêque kaum noch erkennen. Ein anderer französischer Erfinder, Hugon, zeigte, daß durch eine geringe Wassereinspritzung die Ökonomie der Lenoir-Maschine erheblich verbessert werden konnte. Mit fast mitleidigen Blicken betrachtete man daneben die neue deutsche Maschine, welche mit ihren Detonationen nur wenig Vertrauen erweckte. Als das Preisgericht daran ging, die höchste Auszeichnung für Fortschritte im Gasmaschinenbau, die goldene Medaille, zu verteilen, erhob sich kaum eine Stimme zu gunsten der Kölner Erfinder. Nur dem energischen Auftreten des deutschen Mitgliedes, Reuleaux, war es zu verdanken, daß man sich bequemte, bei dem dermaligen Stande dieser jungen Industrie, lediglich eine Prüfung auf Leistung und Gasverbrauch als Richtschnur dienen zu lassen. Kein Geringerer als Tresca, der berühmte Direktor des Conservatoire des Arts et Métiers ward mit dieser Prüfung betraut. Überraschend war das Ergebnis: der Gasverbrauch für dieselbe Leistung zeigte bei den 3 Maschinen Lenoir, Hugon und Otto und Langen das Verhältnis 10 : 6 : 4. Gegenüber diesem offenbaren Fortschritt mußten selbst die französischen Mitglieder des Preisgerichtes ihre natürlichen Sympathien unterdrücken, und der deutschen Erfindung wurde der goldene Preis zu teil.

Digitized by Google

Mit diesem Erfolge war den Erfindern die Bahn gebrochen. Die Zeit des mühevollen und kostspieligen Experimentierens hörte zunächst auf, zahlreiche Aufträge gestatteten eine nutzbringende Fabrikation, und schon im Jahre 1869 reichte die Werkstatt in der Servaesgasse in Köln, in welcher man 1864 begonnen hatte, nicht mehr aus. Eine eigene Fabrik wurde an den Ufern des Rheins, in Deutz erbaut und nach den Plänen Langens mit den neuesten Einrichtungen und Arbeitsmaschinen versehen. Von stetig wachsenden Erfolgen begleitet, wurde im Jahre 1871 das Unternehmen in eine Aktiengesellschaft umgewandelt. Wie groß das Bedürfnis nach einer zuverlässigen und billigen Kraftquelle für den Handwerker und Kleingewerbetreibenden geworden war, zeigt der Absatz der atmosphärischen Gaskraftmaschinen in den ersten Jahren. Es wurden im ganzen über 5000 solcher Maschinen erbaut, in Größen von $^1/_4$ bis 3 PS. Das ruhige Fahrwasser, in welches das Unternehmen gelangt war, gestattete Eugen Langen, seine Tätigkeit zum teil wieder anderen industriellen Aufgaben zuzuwenden, während Otto seine gesamte Kraft der Leitung der Deutzer Fabrik widmete. Doch nahm Langen an allen konstruktiven Aufgaben nach wie vor den regsten Anteil.

Otto selbst war unterdes unermüdlich tätig, die grundlegenden Fragen durch umfassende Versuche zu klären und zu vertiefen. Ein besonderer Saal der Fabrik zeigt heute noch die lange Reihe der Konstruktionen, welche studiert und erprobt wurden, und keine Auffassung wäre unrichtiger als diejenige, welche den letzten und nachhaltigen Erfolg Otto's etwa einem Zufall oder einer glücklichen Eingebung zuschreiben wollte. Man kann diese achtunggebietende Reihe von versuchten und wieder verworfenen Maschinen nicht überblicken, ohne sich von neuem bewußt zu werden, daß das

Digitized by Google

Genie zwar tiefe Abgründe im Fluge überspringt, der dauernde Erfolg aber immer nur auf mühsam und fest erbauten Brücken zu folgen vermag.

Zwei Eigenschaften der atmosphärischen Maschine waren es, welche Otto veranlaßten, neue Methoden und Formen für die Gasmaschine zu suchen. Zunächst das lästige Geräusch, welches mit dem Explosionsstoß des auffliegenden Kolbens verbunden war, und welches sich besonders der Aufstellung der Maschine in bewohnten Häusern hindernd in den Weg stellte. Der zweite, fast noch wichtigere Grund war der, daß das bei der atmosphärischen Maschine angewandte Prinzip den Bau der Maschinen auf kleinere Leistungen beschränkte. Mit Überzeugung hing aber Otto nach wie vor an dem Gedanken, daß die Gasmaschine auch in großen Ausführungen, von mehr als 100 PS., der Dampfmaschine als ebenbürtiger Rivale an die Seite zu treten berufen sei. Seine ersten Ideen, die an dem Mangel technischer Erfahrung und konstruktiven Könnens gescheitert waren, nahm er mit Feuereifer wieder auf. In harter Schule, an den vorbildlichen Leistungen Langens und im Wettstreit mit tüchtig geschulten Ingenieuren war in Otto neben dem ideenreichen Erfinder eine zweite nicht minder hervorragende Eigenschaft zur Entwicklung gelangt, die eines geschickten Konstrukteurs. Erst die Vereinigung beider Fähigkeiten gab ihm die schöpferische Kraft zur Erfindung des neuen nach seinem Namen benannten Motors, der die gesamten den Gasmaschinenbau bis dahin beherrschenden Anschauungen reformierte und in der Reihe bahnbrechender Erfindungen des 19. Jahrhunderts immerdar einen Ehrenplatz behaupten wird.

Otto kehrte mit seiner neuen Maschine bekanntlich wieder zu dem Prinzip der direkten Wirkung zurück. Unter Einführung des Viertaktes gelang es ihm, den Arbeitszylinder

Digitized by Google

zugleich als Kompressionspumpe zu benutzen und den Aufbau der Maschine außerordentlich einfach und übersichtlich zu gestalten. Die konstruktive Durchbildung der Maschine mit einer Fülle von sinnreichen Einzelheiten erregte das Entzücken der gesamten Ingenieurwelt, und heute, nach 15 Jahren, trägt sie noch genau dasselbe Gesicht; kaum nennenswerte Abänderungen hat sie in dieser Zeit eines beispiellosen Aufblühens der Gasmotorenindustrie erfahren. Zahlreiche Erfinder, die ursprünglich von durchaus anderen Gesichtspunkten ausgegangen waren, sind nach mühevollen und kostspieligen Erfahrungen schließlich zu Konstruktionen gelangt, welche im wesentlichen mit denen Otto's übereinstimmen.

Jedoch nicht in der mehr oder weniger äußerlichen Form des Otto'schen Motors beruht das Durchschlagende und Nachhaltige seines Erfolges. Die direkt wirkende Gasmaschine wurde erst möglich durch die von Otto erzielte Ökonomie im Verbrauch des kraftspendenden Gases. Mit einem Schlage wurden durch ihn die Betriebskosten der Gasmaschine um mehr als die Hälfte verringert und ein Fortschritt erzielt, der bei der Dampfmaschine nur allmählich und erst in Jahrzehnten gelungen war.

Es läßt sich kaum noch bestreiten, daß die Erfindung Otto's sich zum allerwesentlichsten Teile auf das Arbeitsprinzip der Maschine, auf ihren Zündungs- und Verbrennungsvorgang bezieht. Weder der Viertakt, noch die Kompression, noch die vermehrte Geschwindigkeit allein reichen aus, die Größe des Fortschrittes zu erklären, wenn auch anerkannt werden muß, daß diese mehr äußerlichen Dinge immerhin einen fördernden Einfluß gehabt haben. In den berühmten Prozessen, welche sich über den Inhalt der wertvollen Deutzer Patente in allen großen Industriestaaten entsponnen haben, ist mit einem ungewöhnlichen Aufgebot von wissenschaftlichem Material diese

Digitized by Google

Frage erörtert worden. Eine erschöpfende Deutung, welche die vorurteilsfreie und unparteiische Wissenschaft allseitig befriedigt hätte, ist noch niemand gelungen.

Es liegt diesen Zeilen, die nur der pietätvollen Erinnerung gewidmet sind, vollkommen fern, den Streit der Meinungen von neuem zu entfachen. Eines aber sind wir dem Andenken des hervorragenden Mannes schuldig: an dieser Stelle zu verzeichnen, wie er selbst sich den Vorgang in seiner Maschine gedacht und auf welchem Wege sein bahnbrechender Fortschritt sich vollzogen hat. Es ist das mehrfach ausgesprochen worden, am bündigsten wohl in der Festschrift zum 25jährigen Jubiläum der Deutzer Fabrik, von der sich annehmen läßt, daß die darin vorgetragenen Anschauungen den seinigen entsprechen.

„Otto hatte den Gedanken einer direkt wirkenden Gasmaschine nicht aufgegeben, und bei seinen Bemühungen in dieser Richtung war ihm die atmosphärische Maschine ein willkommenes Versuchsobjekt. Jede einzelne Explosion, ob kräftig oder schwach, war als solche deutlich zu erkennen, da ja der Kolben frei in die Höhe flog. Je nach dem Gasreichtum des Gemenges waren die Explosionen mehr oder weniger heftig, flog der Kolben schnell oder langsam in die Höhe. Bei gasarmen Gemengen stieg der Kolben oft erst nach geraumer Zeit, nachdem das Schwungrad schon eine Anzahl Umdrehungen gemacht hatte, langsam in die Höhe, und hieraus erkannte Otto, daß gasarme Gemenge nicht nur langsam verbrennen, sondern auch sich verspätet entzünden, gleichzeitig aber sah er ein, daß ein stoßfreier Motor nur durch Anwendung verdünnter Gemenge erzielt werden könne; es galt also die Frage zu lösen:

Wie kann man verdünnte Gemenge, z. B. 1 : 11, 1 : 12, 1 : 13, noch sicher zünden?

Digitized by Google

Diese Frage beschäftigte Otto jahrelang, bis ihn schließlich die Betrachtung des aus einem Fabrikschornstein aufsteigenden Rauches auf die Lösung brachte, welcher beim Verlassen des Schornsteines dick und dicht, im Aufsteigen an Dichtigkeit mehr und mehr verlor, indem er sich in der Luft zerstreute.

Kann man nämlich stoßfreie Wirkung nur erreichen mit gasarmen Gemengen von etwa 1 : 12 Gasgehalt, und entzünden solche armen Gemenge sich unsicher, so besteht die Lösung der Aufgabe darin, daß man zuerst beispielsweise 5 oder 4 oder 3 Teile Luft und dann Gasgemenge von 1 : 7 oder 1 : 8 oder 1 : 9 ansaugt; es kommt dann ein Gemenge von 1 : 12 zur Verwendung; an der Zündstelle wird sich jedoch ein mehr oder weniger gasreiches Gemenge befinden."

Die in diesen Ausführungen gedachte schichtenweise Anordnung von gasreichen und gasarmen Bestandteilen hat aber außer der „stoßfreien Wirkung" auch noch einen wichtigen thermischen Effekt, den Otto nicht besonders hervorhebt. Alle älteren Konstruktionen, welche gleichartiges Explosionsgemisch verwenden, brauchen zur sicheren Zündung nicht nur einen ansehnlichen Gasgehalt, sie ergeben auch besonders hohe Verbrennungstemperaturen und eine fast plötzliche Auslösung der gesamten Verbrennungswärme. Ein homogenes Flammenmeer erfüllt den Raum und berührt sofort allseitig die kühle Wandung. Ehe der Kolben einen nennenswerten Teil seines Hubes zurücklegen kann, bieten sich der Wärme zwei deutlich zu unterscheidende Wege. Der eine in das Metall des Zylinders und in den umgebenden Wassermantel, wegen der vorzüglichen Leitungsfähigkeit des Eisens einer breiten Heerstraße vergleichbar, auf der sie ungehindert abfließen kann, frei und widerstandslos wie der elektrische Strom bei einem sich darbietenden Kurzschlusse. Weniger

Digitized by Google

verlockend erscheint ihr der zweite Weg, wo ihrer in schlecht leitender Verbrennungsluft der Frohndienst der Arbeit harrt. Durch Desertion lichten sich unaufhörlich sogar die Reihen derer, die diese Bahn betreten, denn ihre Arbeitsfähigkeit erlahmt, und der Weg durch das Metall wird immer breiter und freier.

Wenn wir in diesem Bilde bleiben, können wir den Fortschritt, den Otto erzielt hat, einer sinnreich erdachten Marschordnung vergleichen, bei welcher dem Kernteile der Truppen, eingeschlossen von weit ausschwärmenden Plänklern, nur eine Wahl geblieben ist — der mühevolle Weg der Arbeit, auf welchen ihr kräftiger Ansturm auch minderwertige Elemente mit fortreißt.

In ähnlich drastischer Weise hat einst Otto selbst dem Schreiber dieser Zeilen im fröhlichen Kreise in seiner Gartenlaube am Rhein seine Erfindung gekennzeichnet.

Er warf scherzend die Frage auf, wie man verwerflicher Weise es anstellen müßte, ein mit zahlreichen Stockwerken, Treppen, Korridoren und Wohnungen ausgestattetes Haus mit den geringsten Mitteln, doch möglichst vollständig und unrettbar in Brand zu setzen. „Ich würde Sorge tragen, so lautete seine Antwort, daß in den unteren Stockwerken des Hauses, in der ersten und zweiten Etage jeder Raum und jeder Winkel mit leidlich brennbaren Stoffen versehen wäre; um die oberen Stockwerke brauchte ich mich wenig zu kümmern; aber den Hausflur würde ich füllen mit Heu und mit Stroh und mit in Petroleum getränkten Lappen."

Die zentrale Explosion inmitten einer Wolke von minderwertigen und für sich allein nur schwer zu zündenden Stoffen ist als der Kernpunkt seiner Erfindung aufzufassen. Man könnte sie vergleichen mit der in der neueren Sprengtechnik üblich gewordenen Detonationszündung, welche die Verwendung

Digitized by Google

verhältnismäßig ungefährlicher und für den Versand geeigneter Sprengmittel ermöglicht hat. Auch hierbei gelangt die Gesamtmasse des Explosivstoffes erst durch den heftigen Anstoß einer explodierenden Zündpatrone zur vollen und plötzlichen Wirkung.

Zeitlich fällt die Otto'sche Erfindung mit den epochemachenden Errungenschaften Hirn's und seiner Elsässer Schule zusammen, welche den verhängnisvollen Einfluß der Wandung auf den Arbeitsvorgang der Dampfmaschine erkannten und theoretisch erklärten.

Noch fehlt der Dampfmaschine der Ritter Georg, der sie aus dieser verzehrenden Umarmung erlöst und sie einem neuen Leben entgegenführt. Der Gasmaschine erstand in Otto bereits der siegreiche Befreier, und der Theorie blieb nichts, als das Geheimnis seines Erfolges zu ergründen.

Von Otto's persönlichen Verhältnissen ist wenig bemerkenswertes zu berichten; sein Leben war geteilt zwischen den harten Dienst der Arbeit und die stillen Freuden eines glücklichen Familienlebens. Er war ein Biedermann in des Wortes vollster Bedeutung, von seltener Einfachheit und fast allzu großer Bescheidenheit in bezug auf sein Auftreten in der Öffentlichkeit. Als im Jahre 1881 der Verein deutscher Ingenieure in Köln seine Hauptversammlung hielt und in richtiger Würdigung des Ortes das Aufblühen der Gasmotorenindustrie zu einem Gegenstande seiner Beratungen machte, war Otto nicht zu bewegen, an den öffentlichen Versammlungen und an den Festlichkeiten teilzunehmen, in der stillen Besorgnis, man könne ihn öffentlich feiern. Trotzdem war es für ihn eine große und herzliche Freude, als ihm die Universität Würzburg die für den Ingenieur so seltene Würde eines Ehrendoktors verlieh, die einzige, aber um so hervorragendere öffentliche Auszeichnung, die ihm in seinem Leben zu teil

Digitized by Google

wurde. Beharrlich und treu wie in seinen Arbeiten, erwies er sich dem nicht allzu umfangreichen Kreise seiner Freunde; herzlich und ungetrübt bis zum letzten Atemzuge blieb sein Verhältnis zu seinem Mitarbeiter Eugen Langen, für den er noch an seinem Todestage die innigen Worte fand: „er war doch immer mein bester Freund!“

Ein bedeutungsvolles Leben ist mit ihm dahingegangen, ein denkwürdiger Name aber eingetragen in das Buch der Geschichte unserer Wissenschaft. Nicht mit Unrecht dürfen wir auch auf ihn jene leuchtenden Worte anwenden, die am Denkmal des großen Schotten erglänzen:

> „Er hat die Hilfsquellen seines Landes erweitert, die Kraft des Menschen vermehrt und sich einen hervorragenden Platz errungen unter den wahren Wohltätern der Welt.“

Druck von Leonhard Simion Nf., Berlin SW 48.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Princeton University Library
32101 048881427

Digitized by Google